



TUGAS AKHIR TF141581

DESAIN AKUSTIK RUANG PADA HOME THEATER MULTIFUNGSI PERPUSTAKAAN ITS

MUHAMMAD IQBAL BAIKHAQI
NRP. 2411 100 044

Dosen Pembimbing

1. Ir. Wiratno Argo Asmoro, Msc
2. Ir. Tutug Dhanardono, MT

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT TF141581

***ROOM ACOUSTIC DESIGN AT
MULTIFUNCTION HOME THEATER IN ITS
LIBRARY***

MUHAMMAD IQBAL BAIKHAQI
NRP. 2411 100 044

Supervisor

1. Ir. Wiratno Argo Asmoro, Msc
2. Ir. Tutug Dhanardono, MT

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**DESAIN AKUSTIK RUANG PADA HOME THEATER
MULTIFUNGSI PERPUSTAKAAN ITS**

TUGAS AKHIR

Oleh :

MUHAMMAD IQBAL BAIKHAQI

NRP : 2411 100 044

**Surabaya, 8 Juli 2015
Mengetahui/Menyetujui**

Pembimbing I

Pembimbing II



Ir. Wiratno Argo Asmoro, Msc

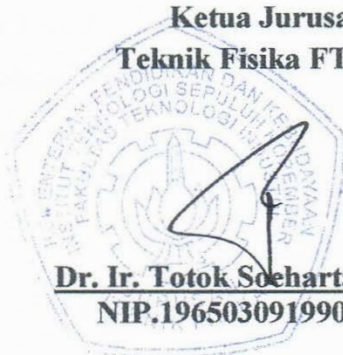
NIP. 19600209 198701 1 001



Ir. Tutug Dhanardono, MT

NIP. 19520613 198103 1 004

**Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS**



Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

NIP.196503091990021001

DESAIN AKUSTIK RUANG PADA HOME THEATER MULTIFUNGSI PERPUSTAKAAN ITS

TUGAS AKHIR


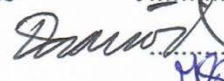


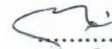
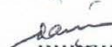
**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada**

**Bidang Studi Rekayasa Akustik dan Fisika Bangunan
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**MUHAMMAD IQBAL BAIKHAQI
NRP. 2411 100 044**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- | | | |
|--------------------------------------|---|-------------------|
| 1. Ir. Wiratno Argo Asmoro, Msc |  | (Pembimbing I) |
| 2. Ir. Tutug Dhanardono, M.T. |  | (Pembimbing II) |
| 3. Ir. Yerri Susatio |  | (Ketua Penguji I) |
| 4. Ir. Herri J, M.T. |  | (Penguji III) |
| 5. Andi Rahmadiansah, S.T., M.T. |  | (Penguji IV) |
| 6. Dr. Dhany Arifianto, S.T., M.Eng. |  | (Penguji V) |

**SURABAYA,
Juli 2015**

DESAIN AKUSTIK RUANG PADA *HOME THEATER* MULTIFUNGSI PERPUSTAKAAN ITS

Nama Mahasiswa : Muhammad Iqbal Baikhaqi
NRP : 2411 100 044
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Wiratno Argo Asmoro, Msc
2. Ir. Tutug Dhanardono, MT

Abstrak

Home theater merupakan ruangan yang tidak dirancang secara khusus untuk memenuhi fungsi ruang *speech* (pidato) atau musik saja, tetapi kedua fungsi tersebut. Dalam penelitian, ruangan yang digunakan terletak di perpustakaan its. Ruangan tersebut difungsikan untuk *home theater* multifungsi. Hasil pengukuran lapangan yang didapatkan, diperoleh nilai waktu dengung sebesar 0.75-1.19 detik dimana dalam standarnya harus sebesar 0.3 detik, untuk kriteria bising didapat 40 dB yang mana standarnya harus 25 dB. Sehingga perlu dilakukan pembuatan ulang ruangan home theater ini sehingga sesuai dengan standar yang ada. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain dari segi akustik untuk home theater berupa kriteria kebisingan, insulasi akustik, waktu dengung serta parameter objektif lain sehingga desain yang dibuat sesuai dengan standar. Agar memenuhi standar maka yang harus dilakukan adalah memperbaiki kriteria bising, insulasi akustik, waktu dengung serta parameter objektif lain berupa kualitas akustik. Setelah didesain ulang didapat nilai kriteria bising 25 dB, waktu dengung rata-rata sebesar 0.34 detik. Sedangkan untuk kualitas akustik, Home theater perpustakaan ITS memiliki STI sebesar 69 %, %Alcons sebesar 4.11 %, Clarity C-50 sebesar -1.65 dan C-80 sebesar 0.21 yang sudah sesuai dengan standar.

Kata Kunci : Home theater, waktu dengung, kriteria bising, kualitas pendengaran

ROOM ACOUSTIC DESIGN AT MULTIFUNCTION HOME THEATER IN ITS LIBRARY

Name of Student : Muhammad Iqbal Baikhaqi
Number of Registration: 2411 100 044
Department : Engineering Physics, FTI-ITS
Supervisor : 1. Ir. Wiratno Argo Asmoro, Msc
2. Ir. Tutug Dhanardono, MT

ABSTRACT

Home theater is a room that is not specifically designed to speech room or music function, but both functions. In this research, which used the room located in ITS library. The room functioned for multifunctional home theater. Field measurement results obtained, the value of reverberation time obtain 0.75-1.19 seconds in which the default must be 0.3 seconds, for noise criteria obtain 40 dB which the default must be 25 dB. So it is necessary to rebuild the home theater room is so in accordance with existing standards. This research purpose to design acoustical which cover noise criteria, acoustic insulation, reverberation time and other objective parameters so that the designs must according to the standards. To according with standar must be fixed the noise criteria, acoustic insulation, reverberation time and other objective parameters. After redesigned obtained value of criteria noise is 25 dB, the average reverberation time is 0.34 seconds. whereas for the quality of the acoustics, Home theater library has a STI ITS 69%, % Alcons at 4.11%, C-50 is -1.65 and C-80 is 0.21 which is in conformity with the standards.

Keywords : *Home theater, reverberation time, noise criteria, the quality of hearing*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah. Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Desain Akustik Ruang Pada Home Theater Multifungsi Perpustakaan ITS”**. Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis secara khusus mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua Orang tua bapak Sudarsono, Ibu Suchaemi, dan kakak Anindah Sudarwati beserta seluruh keluarga tercinta yang selalu mendoakan dan memotivasi penulis dimanapun berada.
2. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA, selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS dan Ibu Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes selaku dosen wali penulis yang telah membimbing dan mendidik selama perkuliahan di Teknik Fisika ITS
3. Bapak Ir. Wiratno Argo Asmoro, Msc dan Ir. Tutug Dhanardono, MT selaku dosen pembimbing yang telah sabar memberikan petunjuk, bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Asisten Laboratorium Vibrasi dan Akustik yang sudah membantu dan menemani penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
5. Fradita Aan Winarno, Yosua Sandy dan Elok Cahyaningtyas serta semua kawan kawan seperjuangan yang telah memiliki tempat tersendiri di hati penulis.
6. Semua teman-teman 2011 yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini belum sempurna. Oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sehingga mencapai sesuatu yang lebih baik lagi. Penulis juga berharap semoga

laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembacanya.

Semoga penulis bisa berpegang teguh terhadap sumpah yang sudah diucapkan saat penerimaan mahasiswa ITS.

*Almamaterku, kan ku turut bimbinganmu
Jadi pejuang yang takkan pernah letih, membangun negeri*

Surabaya, 24 Desember 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 karakteristik Gelombang Bunyi	5
2.2 Bising Latar Belakang.....	12
2.3 <i>Reverberation Time</i>	20
2.4 Transmission Loss.....	21
2.5 Kualitas Akustik Ruang	21
2.6 Insulasi Akustik.....	21
2.7 Defiition/deutlichkeit, D50.....	23
2.8 Clarity/Klarheitsmass	27
2.9 Cacat Akustik.....	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Alur Penelitian	30
3.2 Deskripsi Home Theater.....	32
3.3 Prosedur Pengambilan data dan Pengolahan Data	28
3.4 Proses Desain dan Simulasi.....	31
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Hasil Pengukuran	33
4.1.1 Background Noise.....	38
4.1.2 Pengukuran waktu dengung ruangan	39

4.1.3 Material bahan ruangan.....	40
4.1.4 Koefisien Absorpsi tiap bahan	41
4.1.5 Menghitung TL akibat bising dari luar	44
4.1.6 Menghitung TL akibat bising dari dalam.....	44
4.1.7 Menghitung Clarity C_{50} dan C_{80}	47
4.2 Analisa data	54
4.2.1 Background Noise Existing.....	56
4.2.2 Analisa waktu dengung	58
4.2.3 Analisa kejelasan pembicaraan	59
4.2.4 Solusi untuk mereduksi waktu dengung	60
4.2.5 Solusi untuk mereduksi bising latar belakang....	61
4.3 Pembahasan	34
4.3.1 Performa Akustik	65
4.3.2 Kejelasan pembicaraan.....	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
DAFTAR PUSTAKA	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Bising Latar Belakang	8
Tabel 2.2 Faktor koreksi pembebanan skala A	14
Tabel 2.3 Kriteria Kebisingan pada Beberapa Ruangan.....	14
Tabel 2.4 Kategori penilaian SI berdasarkan D50.....	22
Tabel 4.1 Background Noise <i>Existing</i>	33
Tabel 4.2 Waktu dengung <i>existing</i>	34
Tabel 4.3 Daftar Bahan serta koefisien serap 1	35
Tabel 4.4 Daftar Bahan serta koefisien serap 2	36
Tabel 4.5 TL akibat bising luar	36
Tabel 4.6 TL Densitas bahan.....	37
Tabel 4.7 Koefisien transmisi bahan	38
Tabel 4.8 Koefisien transmisi bahan	39
Tabel 4.9 nilai L_{p2}	40
Tabel 4.10 data L_{p1} dan NC (sesuai standar)	40
Tabel 4.11 nilai L_{p2}	41
Tabel 4.12 hasil clarity C80 dan 50 dengan simulasi	41
Tabel 4.13 RT-60 sebelum di desain.....	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kurva peluruhan tingkat tekanan bunyi.....	12
Gambar 2.2 Waktu Dengung yang Dianjurkan	14
Gambar 2.3 Kurva NC.....	17
Gambar 2.4 Perbandingan Waktu Dengung Ruang	21
Gambar 2.5 Waktu Dengung pada Beberapa Volume	22
Gambar 3.1 Alur penelitian	30
Gambar 3.2 Home Theater ITS sebelum desain baru.....	31
Gambar 3.3 Home Theater Desain baru tampak atas	32
Gambar 3.4 Denah Home Theater Tampak Samping	32
Gambar 3.5 Titik ukur waktu dengung	34
Gambar 4.1 Hasil RT-60	41
Gambar 4.2 Letak Speaker	43
Gambar 4.3 Hasil FFT <i>Tone</i> Musik <i>Reggae</i>	44
Gambar 4.4 Hasil FFT <i>Tone</i> Musik <i>Blues</i>	44
Gambar 4.5 Hasil FFT <i>Tone</i> Musik <i>Rock</i>	45
Gambar 4.6 Hasil Transformasi <i>Fourier Tone</i> Film <i>Action</i>	45
Gambar 4.7 Hasil Transformasi <i>Fourier Tone</i> Film <i>Drama</i>	46
Gambar 4.8 Hasil Transformasi <i>Fourier Tone</i> Film <i>Horror</i>	46
Gambar 4.9 Noise Criteria.....	47
Gambar 4.10 Grafik C-50.....	50
Gambar 4.11 Grafik C-80.....	50
Gambar 4.12 kontur C-80.....	51
Gambar 4.13 kontur C-50.....	51
Gambar 4.14 Hasil Lp_2 Setelah Desain	53
Gambar 4.15 Hasil Lp_2 Setelah Desain akibat bising	53
Gambar 4.16 Area optimal dalam mendengar musik.....	54
Gambar 4.17 Area optimal dalam mendengar film <i>Drama</i>	55
Gambar 4.18 Area optimal dalam mendengar Musik <i>rock</i>	55
Gambar 4.13 kontur C-50.....	51

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Home theater merupakan ruangan yang tidak dirancang secara khusus untuk memenuhi fungsi ruang *speech* (pidato) atau musik saja, tetapi kedua fungsi tersebut. Hal ini menyebabkan perbedaan kebutuhan tingkat pantulan bunyi untuk tiap-tiap fungsi auditorium, pada perhitungan nilai waktu dengung (RT) yang dibutuhkan. Menurut kebutuhannya ruang dengan fungsi percakapan dibutuhkan RT yang terletak pada kisaran nilai 0,85-1,3 detik sedangkan untuk fungsi musik diperlukan perhitungan RT yang nilainya terletak pada kisaran waktu 1.3-1.83 detik (Ribeiro,2002). Perbedaan itu dibutuhkan agar nilai RT yang diperuntukkan untuk fungsi ruang tersebut memiliki efek yang berfungsi secara tepat, karena RT yang terlalu pendek akan menyebabkan ruangan terasa mati sebaliknya RT yang panjang memberikan suasana hidup pada ruangan,tetapi untuk ruang dengan fungsi percakapan akan menyebabkan penurunan *speech intelligibility* (Satwiko, 2004:91). Bahan penutup interior ruangan yang berfungsi sebagai *absorber* maupun reflektor sangat berpengaruh terhadap nilai RT yang dicapai. (Doelle, 1972:63).

Segi akustik ruang yang menentukan kesesuaian ruangan dengan fungsinya dalam perancangan suatu ruangan seringkali ditinggalkan. Pertimbangan estetika ruang saja tidaklah cukup untuk perancangannya. Kondisi mendengar yang sesuai merupakan suatu hal yang mendukung kepuasan pengguna ruangan. Namun seringkali perancangan suatu gedung pertunjukan atau perkuliahan tidak mempertimbangkan parameter-parameter akustik yang mendukung keberhasilan ruangan untuk menjalankan fungsinya pada saat digunakan seperti yang terjadi di ruang *Home Theater* ITS. Dari hasil pengukuran lapangan yang didapatkan, diperoleh nilai waktu dengung sebesar 0.75-1.19 detik. Sehingga perlu dilakukan pembuatan ulang ruangan home theater ini sehingga sesuai dengan standar yang ada.

Dalam penelitian ini ruangan yang digunakan adalah ruangan yang terdapat di Perpustakaan ITS. Ruangan tersebut rencananya akan digunakan untuk *home theater* multifungsi. Dalam penelitian ini didesain dari awal bagaimana ruangan tersebut dibangun untuk sesuai dengan standar yang ada, serta menentukan material yang tepat untuk ruangan tersebut. Setelah rancangan material tersebut sudah memenuhi, maka sistem audio juga didesain sesuai dengan standar yang ada. Yang dimaksud adalah bagaimana memberikan perlakuan insulasi terhadap noise yang berada di sekitar ruangan. Selain itu perlu juga untuk mendesain sistem audio dari ruangan ini. Dari uraian diatas maka penelitian ini mengambil judul desain akustik ruang pada *home theater* multifungsi perpustakaan ITS. Penelitian akan difokuskan terhadap pemilihan material dan sistem audio pada ruangan.

1.2 Permasalahan

Berdasarkan uraian pada latar belakang, permasalahan yang harus terjawab adalah bagaimana mendesain ruangan untuk *Home theater* multifungsi dan menentukan material serta sistem audio yang tepat untuk ruangan tersebut ?

1.3 Batasan Masalah

Agar dalam penyelesaian masalah pada tugas akhir ini dapat fokus maka batasan masalah yang diangkat yaitu :

1. Daerah penelitian hanya mencakup akustik ruang *home theater* yang telah ditentukan yaitu mempunyai volume 268.21 m³.
2. Material yang digunakan adalah material yang tahan api, murah dan ramah lingkungan
3. Multifungsi yang dimaksud adalah ruangan dengan fungsi untuk speech, musik, dan video/film.

1.4 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah mendesain dari segi akustik untuk *home theater* berupa kriteria kebisingan,

insulasi akustik, waktu dengung serta parameter objektif lain sehingga desain yang dibuat sesuai dengan standar.

1.5 Metodologi Penelitian

Dalam penelitian tugas akhir ini, langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Identifikasi Permasalahan
Melakukan pengamatan langsung ke lokasi yang menjadi objek pengambilan data sehingga nantinya akan mendapatkan data awal sebagai permasalahan yang akan dibahas.
2. Studi Lapangan
Mengidentifikasi bagaimana kondisi lapangan dan menentukan kapan waktu dalam pengambilan data tugas akhir ini dapat berlangsung
3. Pengambilan data
Setelah ditentukan waktu yang sesuai dengan kondisi untuk pengambilan data, dilakukan pada titik-titik pengukuran yang telah ditentukan sebelumnya.
4. Analisa Data dan Pembahasan
Dari data yang telah diambil, selanjutnya dilakukan analisis data nilai waktu dengung dari hasil simulasi *software* akustik.
5. Kesimpulan dan Saran
Setelah melakukan serangkaian kegiatan diatas maka dapat kesimpulan bahwa hasil dari analisis data apakah telah dapat mencapai tujuan dari penelitian tugas akhir kali ini.

1.6 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dibagi dalam 5 bab. Bab I Pendahuluan yang membahas tentang latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan tugas akhir, metodologi penelitian, dan sistematika laporan. Bab II Dasar teori yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini. BAB III Metodologi

Penelitian yang membahas segala sesuatu tentang pengukuran data dan metode yang digunakan. BAB V Analisis Data dan Pembahasan yang berisi analisis mengenai data-data hasil pengukuran, hasil simulasi software akustik, dan pembahasan dari data hasil pengukuran dan data hasil simulasi software akustik. BAB V Kesimpulan dan Saran mengenai tentang kesimpulan dan saran yang diperoleh dari pengerjaan tugas akhir kali ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Ruang percakapan membutuhkan kejelasan suara yang cukup baik agar informasi bisa tersampaikan bisa diterima secara jelas. Terlebih lagi apabila ruangan tersebut juga digunakan untuk video conference. Ruangan seperti ini membutuhkan sistem audio tersendiri untuk menunjang kegiatan-kegiatan yang akan dilakukan. Selain itu, untuk memperoleh kualitas speech yang baik memerlukan perangkat sistem audio-visual yang berkualitas. Desain ruangan yang dibutuhkan adalah semi studio yang dapat digunakan untuk video conference.

2.1 Ruang *Home Theater*

Menurut istilah home theater didefinisikan sebagai bangunan atau ruangan besar di kantor, sekolah, universitas, atau gedung untuk mendengarkan ceramah atau untuk mengadakan pertunjukan. Home theater termasuk salah satu jenis ruang auditorium, menurut Barron (2010), auditorium dapat dibagi berdasarkan fungsinya yaitu:

- Speech auditorium, yaitu auditorium mono-fungsi untuk pertemuan dengan aktivitas utama percakapan (speech) seperti seminar, konferensi, kuliah, dan seterusnya. Sebuah auditorium yang digunakan untuk ruang kuliah dapat disebut juga sebagai lecture hall.
- Music Auditorium, yaitu auditorium dengan aktivitas utama sajian kesenian seperti seni musik, seni tari, theater musikal, dan seterusnya. Secara akustik, jenis auditorium ini masih dapat dibedakan lebih rinci menjadi auditorium yang menampung aktivitas musik saja dan yang menampung aktivitas musik sekaligus gerak.
- Auditorium multifungsi, yaitu auditorium yang tidak dirancang secara khusus untuk fungsi percakapan atau musik saja, namun sengaja dirancang untuk mewadahi keduanya.

Klasifikasi auditorium menurut fungsi utamanya merupakan hal yang penting untuk dilakukan agar dapat diciptakan perancangan yang maksimal untuk mendukung fungsi utamanya tersebut.

2.1.1 Karakteristik akustik home theater

Seperti yang telah disinggung sebelumnya, fungsi dari sebuah ruang auditorium menentukan rancangan akustik yang diterapkan untuk ruang auditorium tersebut. Hal ini dimaksudkan untuk mencapai keadaan akustik yang dapat memadai kegiatan yang dilaksanakan pada ruang auditorium tersebut. Perbedaan rancangan akustik ini juga menyebabkan adanya perbedaan dalam kriteria akustik serta pengujiannya yang bergantung pada jenis auditorium tersebut. Meskipun demikian, terdapat beberapa kriteria yang digunakan untuk perancangan akustik ruang secara umum yaitu tingkat kebisingan serta reverberation time atau waktu dengung.

- **Kriteria Kebisingan**

Kebisingan yang terjadi pada ruang home theater dapat disamakan dengan kebisingan yang dapat terjadi pada ruang tertutup dengan fungsi apapun. Hal ini disebabkan sumber tingkat kebisingan yang dapat berasal dari dalam ruang itu sendiri (internal noise) maupun dari luar ruang tersebut (external noise) (Acoustical Society of America, 2000). Sumber kebisingan dari dalam ruang itu sendiri dapat berasal dari peralatan yang berfungsi dalam ruang tersebut, seperti pendingin ruangan dan sistem pencahayaan. Sumber kebisingan yang berasal dari luar ruang sangat bergantung pada posisi ruang tersebut, dimana sumber ini dapat berasal dari alat transportasi yang beroperasi maupun ruang-ruang lain yang sedang berlangsungnya kegiatan. Meskipun kebisingan yang dapat dialami oleh sebuah ruang terlepas dari fungsinya adalah kurang lebih sama, terdapat penyesuaian tingkat kebisingan minimum yang bergantung pada jenis kegiatan yang dilaksanakan oleh di dalam ruang tersebut. Daftar tingkat kebisingan minimum yang disarankan oleh Leslie Doelle

(1993) dimana kriteria kebisingan yang disarankan untuk sebuah ruang home theater di lingkungan sekolah adalah 25 dB.

- Waktu dengung

Waktu dengung merupakan parameter yang paling umum digunakan dalam desain akustik ruang. Parameter ini diciptakan oleh Wallace C. Sabine pada abad ke-19. Faktor yang mempengaruhi waktu dengung pada temperatur normal 22°C adalah volume ruang (V), kapasitas pendengar, serta bidang lingkup yang absorbtif atau reflektif (A) Jika volume ruangan semakin besar, waktu dengungnya juga semakin besar. Demikian jika bahan material dari bangunan tersebut memiliki koefisien dan luasan yang lebih besar, waktu dengung yang didapat semakin kecil. Parameter waktu dengung (RT) auditorium berbeda-beda tergantung penggunaannya. Bahan penutup bidang permukaan interior yang berkaitan dengan angka koefisien absorpsi dan refleksi, sangat berpengaruh dalam menentukan besaran RT suatu auditorium (Doelle, 1972). Ruangan yang keseluruhan permukaannya bersifat menyerap energi suara (RT sangat pendek) disebut ruang anti dengung (*anechoic chamber*), sedangkan ruangan yang keseluruhan permukaannya bersifat memantulkan suara (RT sangat panjang) disebut ruang dengung (*reverberation chamber*). Waktu dengung sebuah auditorium digunakan sebagai *speech auditorium* di lingkungan sekolah disarankan berada diantara 1 sampai 1,5 detik. Hal ini disarankan oleh *Acoustical Society of America* seperti. Untuk sebuah *music auditorium*, waktu dengung disarankan berada diantara 1,5 sampai 2 detik sedangkan untuk multifungsi sebesar 0.3 detik (Mediastika,2005).

2.1.2 Karakteristik Gelombang Bunyi

Gelombang bunyi memiliki karakteristik yang sama dengan gelombang cahaya, sifat seperti inilah yang disebut dengan akustik geometrik.

- **Pemantulan Bunyi**

Dalam proses perambatannya, gelombang bunyi memenuhi hukum pemantulan, yang juga dialami oleh gelombang cahaya, yaitu sudut gelombang datang terhadap garis normal akan sama besar dengan sudut antara gelombang pantul dengan garis normal bidang. Gelombang bunyi tersebut akan terus mengalami pemantulan sampai sebagian besar energinya diserap oleh dinding atau permukaan benda pada ruangan.

Jika pada gelombang cahaya, cermin kecil dapat untuk memantulkan cahaya. Pada gelombang bunyi, cermin akustik yang digunakan untuk memantulkan gelombang bunyi biasanya bersifat besar, permukaannya halus dan keras, sebagai contohnya adalah beton, bata, plester, gelas dan sebagainya, dapat memantulkan hampir semua energi bunyi yang mengenainya.

Seperti halnya cahaya, pada saat diinginkan agar cahaya tersebut dapat menyebar, maka cahaya dapat dipantulkan pada permukaan cermin cembung. Sebaliknya, cermin cekung dapat membuat hasil cahaya terfokus pada satu titik. Hal yang sama juga berlaku pada gelombang bunyi. Saat gelombang bunyi mengenai permukaan cembung, maka gelombang bunyi tersebut akan tersebar, dan saat gelombang tersebut mengenai permukaan cekung gelombang bunyi akan terfokus pada suatu daerah.

- **Difusi dan difraksi bunyi**

Difusi bunyi adalah suatu proses penyebaran bunyi yang terjadi dalam suatu ruangan. Difusi bunyi ini dapat diciptakan dengan beberapa cara, antara lain [Bistafa,2002]:

1. Pemakaian permukaan dan elemen penyebar yang tidak teratur dalam jumlah yang banyak sekali, seperti pilaster, pier, balok-balok telanjang, langit-

langit yang terkotak-kotak, pagar balkon yang dipahat dan dinding-dinding yang bergerigi.

2. Penggunaan lapisan permukaan pemantul bunyi dan penyerap bunyi secara bergantian.
 3. Distribusi lapisan penyerap bunyi yang berbeda secara tidak teratur dan acak.
 4. Sedangkan difraksi bunyi adalah peristiwa pembelokan atau penghamburan gelombang bunyi di sekitar penghalang atau dinding.
- Penyerapan bunyi

Penyerapan bunyi adalah suatu bentuk perubahan energi bunyi menjadi energi lainnya, pada umumnya berubah menjadi bentuk kalor. Proses perubahan energi tersebut terjadi sewaktu gelombang menumbuk suatu permukaan. Pada penyerapan bunyi, terdapat beberapa benda yang mampu untuk menyerap bunyi. Kemampuan menyerap bunyi ini dapat dinyatakan melalui suatu koefisien penyerapan bunyi (α).

Hal ini dapat diartikan bila suatu bahan memiliki suatu koefisien absorpsi sebesar 0.65 maka besar energi bunyi yang akan terserap oleh bahan saat gelombang bunyi mengenainya adalah sebesar 65% dari seluruh energinya dan sisa energinya sebesar 35% akan dipantulkan (koefisien refleksi sebesar 0.35).

Dalam akustik ruangan, terdapat hal-hal yang mempengaruhi nilai penyerapan bunyi, antara lain [Bistafa,2002]:

1. Lapisan permukaan dinding, lantai dan atap
2. Isi ruangan, seperti penonton bahan tirai, tempat duduk, lapisan karpet, dan sebagainya.
3. Udara dalam ruangan

2.2 Bising Latar Belakang

Dalam setiap ruangan, dirasakan atau tidak, akan selalu ada suara. Hal ini menjadi dasar pengertian tentang adanya bising latar belakang (background noise). Bising latar belakang dapat

didefinisikan sebagai suara yang berasal bukan dari sumber suara utama atau suara yang tidak diinginkan. Dalam suatu ruangan tertutup seperti auditorium maka bising latar belakang dihasilkan oleh peralatan mekanikal atau elektrik di dalam ruang seperti pendingin udara (air conditioning), kipas angin, dan seterusnya. Demikian pula, kebisingan yang datang dari luar ruangan, seperti bising lalu lintas di jalan raya, bising di area parkir kendaraan, dan seterusnya.

Bising latar belakang tidak dapat sepenuhnya dihilangkan, akan tetapi dapat dikurangi atau diturunkan melalui serangkaian perlakuan akustik. terhadap ruangan. Besaran bising latar belakang

ruang dapat diketahui melalui pengukuran Tingkat Tekanan Bunyi (TTB) di dalam ruangan pada rentang frekuensi tengah pita oktaf antara 63 Hz sampai dengan 8 kHz, dimana hasil pengukuran digunakan untuk menentukan kriteria kebisingan ruang dengan cara memetakannya pada kurva kriteria kebisingan (Noise Criteria– NC). Nilai NC bisa dihitung dari tingkat tekanan bunyi yang terukur dengan perhitungan dibawah ini

$$NC \cong 1.25(L_A - 13) \quad (2.1)$$

Dimana pada persamaan diatas L_A merupakan Tingkat Tekanan Bunyi (TTB) pada rata-rata seluruh titik pengukuran.

Tabel 2.1 Bising Latar Belakang[Baron,1972]

No	Type of Space (and Communication Requirements)	NC Rating	App rox. dBA
1	Voice music studio (very quite for recording)	15-25	25-34
2	Radio or TV Studio (quite for broadcasting)	20-30	30-38
3	Concert and recital halls, opera houses (for critical hearing and listening)	15-25	25-34
4	Large auditorium, drama theaters and churches (for good listening condition)	<25	<34
5	Small auditorium, theaters and churches (for good listening condition)	<35	<44
6	Bedroom, sleeping quarte, hospitals, hotels, motels, residence and apartments (for sleeping, resting and	25-40	34-47

	relaxing)		
7	Lecture and assembly halls (for good listening condition)	<30	<38
8	Classrooms, seminar rooms, study rooms and laboratories (no amplification and normal listening conditions)	30-40	38-47
9	Private and semiprivate offices, small conference rooms, etc. (for good listening conditions)	30-40	38-47
10	Larges offices, receptions areas, retail stories, restaurants, etc. (for moderately good listening conditions telephone use satisfactory)	35-45	42-52
11	Lobbies, corridors, laboratory workspaces, drafting and engineering rooms, general scretarial areas (for moderately fair listening conditions, telephone use ocassionaly slightly difficult)	40-50	47-56
12	Light maintenance shop, offices and computer rooms, etc. (for moderately fair conditions, telephone use slightly difficult)	45-55	52-61
13	Shops, garage, power plant control rooms, arenas, stadium, airports railrood stations (for just acceptable speech and telephone communication)	50-60	56-66
14	Factory and shops areas (for workspace where speech or telephone communication is not required, but where there must be no risk of hearing damage)	60-75	66-80

Bila kebisingan yang ada berlangsung secara kontinyu, perlu dihitung nilai ekivalen dari tingkat kebisingan. Nilai ekivalen tingkat kebisingan kontinyu adalah tingkat tekanan bunyi dari bunyi yang steady pada suatu periode ditingkat energi yang sama [2]. Nilainya terukur dan tersebar secara merata dengan satuan dB(A). Teori perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$L_{eq} = 10 \frac{\log_{10} (t_1 10^{L_1/10} + t_2 10^{L_2/10} + \dots + t_n 10^{L_n/10})}{T} \quad (2.2)$$

Dimana :

L_{eq} : Tingkat Tekanan Bunyi Equivalent (dBA)

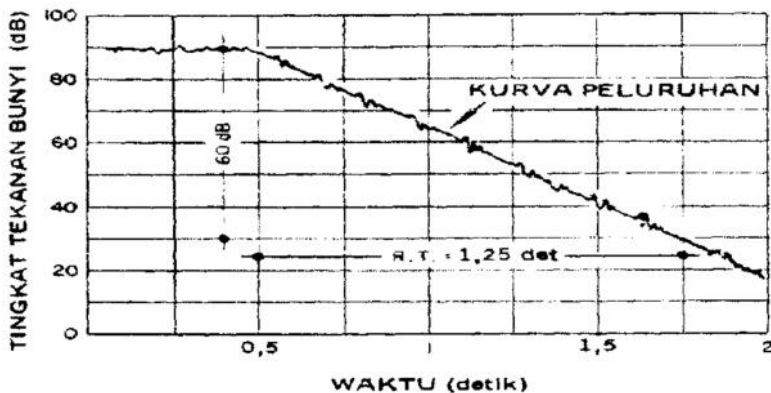
t_n : Waktu ke-n

L_n : Tingkat Tekanan Bunyi ke-n (dBA)

T : jumlah data

2.3 Reverberation Time

Waktu dengung adalah waktu yang dibutuhkan suatu energi suara untuk meluruh hingga sebesar sepersatu juta dari energi awalnya, yaitu sebesar 60 dB. Pertama kali didefinisikan oleh W.C Sabine (tahun 1898) sebagai waktu lamanya terjadi dengung di dalam ruangan yang masih dapat didengar. Digambarkan pada Gambar.



Gambar 2.1 Kurva Peluruhan Tingkat Tekanan Bunyi [Bistafa,2002]

^[3]Ada beragam metode pengukuran waktu gema tetapi yang paling sering di gunakan adalah Reverberation Time 60dB yang lebih dikenal dengan istilah RT 60. Definisi RT60 adalah waktu (detik) yang dibutuhkan untuk suara melemah sebanyak 60dB.

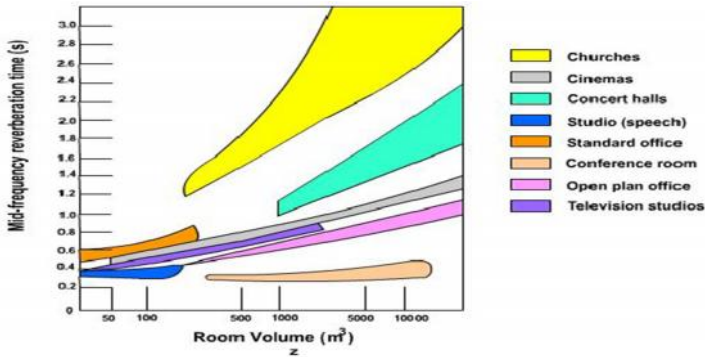
Waktu gema yang ideal (RT60) untuk ruang dengar dengan volume 10 meter kubik adalah 0.9 detik dan 500 meter kubik adalah 1.4 detik. Jika angka (RT60) ruang jauh lebih kecil dari angka patokan di atas kita akan merasakan ruangan yang cenderung mati (dead room) atau jika angka (RT60) ruang jauh di atas angka patokan di atas kita akan merasakan ruang yang terlalu bergema.

Misalnya ruangan dengan ukuran 29 meter kubik maka ideal nya waktu gemanya (RT60) adalah 1,15 detik. Tetapi jika

ruangan tersebut memiliki waktu gema (RT60) sebesar 1.7 detik maka ruangan tersebut membutuhkan material serap suara. Atau sebaliknya jika pada ruangan tersebut memiliki waktu gema (RT60) sebesar 0,7 detik maka ruangan tersebut dapat kita sebut sebagai dead room dimana pada ruang tersebut banyak terdapat material serap suara.

Tabel 2.2 Nilai Waktu Dengung berbagai Ruang

Types of Space	Recommended Reverberation Time (s)
Art/Practical activity	0.6 to 0.8
Classrooms, Primary	0.4 to 0.5
Classrooms, Secondary	0.5 to 0.6
Computer Laboratories	0.4 to 0.6
Corridors	0.6 to 0.8
Drama Studios	0.7 to 0.8
Early Learning Centres	0.4
Gymnasiums	0.8 to 1
Library Resource Centre	0.4 to 0.6
Home Theater	0.25 to 0.35
Music Practice Rooms	0.5 to 0.7
Music Studios	0.7 to 0.8
Offices	0.4
Open Plan Learning Areas	0.4 to 0.5
Science Laboratories	0.5 to 0.7
Seminar/withdrawal rooms	0.6 to 0.7
Staff common areas	0.4



Gambar 2.2. Waktu Dengung yang Dianjurkan untuk Berbagai Volume Ruangan[Herman J.M,1999]

Setiap material memiliki karakter serap dan pantul yang berbeda untuk frekuensi yang berbeda. Misalnya material semen cenderung untuk memantulkan nada tinggi dan untuk nada rendah di teruskan. Sedangkan karpet cenderung untuk menyerap nada tinggi dan meneruskan nada rendah. Sering saya melihat orang membuat ruang studio atau ruang audio dengan memasang karpet di lantai dan dinding. Ruang seperti ini cenderung untuk memberikan efek suara yang “boomy” (dengung) dengan detail suara yang tidak baik. Rumus perhitungan RT adalah sebagai berikut:

$$RT = \frac{0.161 V}{A S} \quad (2.3)$$

V = volume ruangan (m³)

A = luas permukaan material (m²)

S = koefisien serap material (m/detik)

2.4 Transmission Loss

Faktor yang dinilai pada karakteristik suatu bahan akustik adalah nilai transmission loss (TL) material akustik, yaitu kemampuan bahan untuk tidak meneruskan bunyi atau

mengisolasi bunyi dari suatu ruang sumber bunyi ke ruang penerima di sebelahnya. Oleh karena itu, untuk dapat mengisolasi bunyi dibutuhkan bahan yang memiliki transmission loss (TL) tinggi. Jumlah energi yang ditransmisikan dikaitkan dengan energi datang dan digambarkan oleh besaran koefisien transmisi yang didefinisikan sebagai:

$$\tau = \frac{\text{energi bunyi yang ditransmisikan}}{\text{energi bunyi yang datang}} \quad (2.4)$$

Transmission Loss (TL) merupakan besaran nilai insulasi pada suatu partisi, dimana semakin besar TL maka semakin besar kemampuan suatu bahan dalam menginsulasi suara [1]. Nilai TL dapat diperoleh dari persamaan berikut ini.

$$TL = NR + 10 \log(0.25 + \frac{SW}{R}) \quad (2.5)$$

Dimana :

TL : Transmission Loss (dBA)
 NR : Noise Reduction (dBA)
 SW : Luas permukaan dinding (m²)
 R : Konstanta Ruang

Sedangkan untuk mencari TL densitas suatu material dapat menggunakan rumus :

$$TL = (20 \log W + 20 \log f) - C \quad (2.6)$$

Dimana :

W : densitas permukaan material (kg/m²/cm)
 f : frekuensi (Hz)
 C : 47

2.5 Kualitas Akustik Ruang

Kualitas akustik ruang menyatakan kemampuan ruangan tersebut untuk menjalankan fungsinya. Ruang dengan kualitas akustik yang baik memerlukan perancangan yang disesuaikan dengan fungsi dan kegunaannya, sehingga tercipta kondisi akustik

yang diharapkan, yaitu pendengar dapat menangkap dan memahami dengan baik dan utuh suara yang telah dipancarkan oleh pembicara atau instrument musik.

Pada waktu merancang kondisi akustik suatu ruangan maka akan bergantung pada fungsi ruangan. Jika suatu ruangan difungsikan sebagai tempat pembicaraan, maka kebutuhannya akan ditekankan pada [8]:

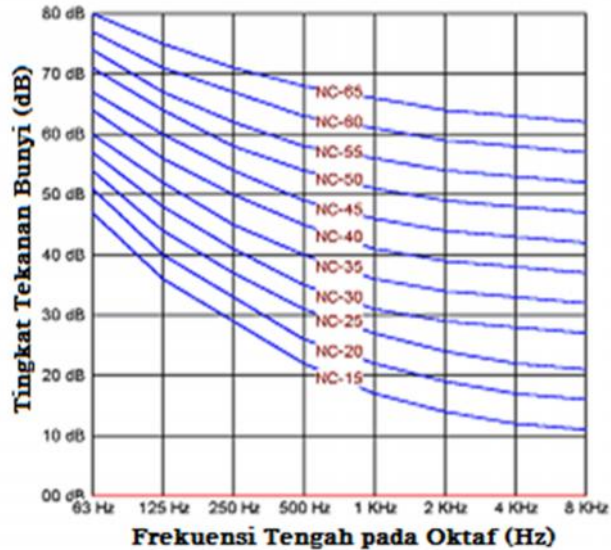
1. Distribusi kekerasan dan energi bunyi yang cukup dan merata pada tiap bagian ruang
2. Minimnya waktu dengung dan bising latar belakang
3. Ruang harus bebas dari cacat akustik ruang seperti gema, pemantulan yang berkepanjangan, gaung, pemusatan suara, bayangan bunyi dan resonansi ruang.
4. Tingginya tingkat kejelasan kata

Untuk memperoleh tingkat kekerasan yang cukup serta distribusi suara yang merata dalam ruang maka perlu perancangan arsitektur seperti : pengaturan posisi pendengar, perancangan system tata suara yang tepat guna, dan penggunaan bahan kendali akustik yang baik. Pemilihan speaker berikut penguatnya serta penentuan posisinya. Semua ini akan memberikan output yang baik bagi pendengar.

Ukuran kualitas akustik ruang antara lain dapat dinyatakan dengan kriteria kebisingan (NC), distribusi tingkat tekanan bunyi (SPL), waktu dengung (RT), dan tingkat kejelasan pembicaraan (Speech Intelligibility, SI).

- Kriteria Kebisingan (NC)

Setiap ruangan dengan fungsi tertentu memiliki batas maksimum bising yang tidak akan mengganggu aktifitas di dalam ruangan tersebut. Tingkat bising latar belakang maksimum yang diijinkan dan yang direkomendasikan dalam berbagai keperluan dapat dinyatakan dalam kurva Noise Criterion (NC) yang diperoleh dari pengukuran tingkat tekanan bunyi didalam ruangan pada rentang frekuensi antara 63 Hz sampai dengan 8 kHz. hasilnya dipetakan pada kurva kriteria kebisingan yang disebut dengan kurva NC.



Gambar 2.3 Kurva NC^[Sieben,2000]

Untuk memplot ke dalam kurva NC, bising latar belakang yang semula diukur dalam dBA (dengan pembebanan A) harus dikonversi terlebih dahulu ke bentuk dB dengan factor koreksi seperti pada tabel 2.2.

Tabel 2.3 Faktor koreksi pembebanan skala A^[B.J Smith,1996]

Frek (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Faktor Koreksi	-16.1	-8.6	-3.2	0	1.2	1	-1.1

Selain mengkonversikan tingkat tekanan bunyi ke dalam dB, juga dilakukan perhitungan rata-rata perfrekuensi dengan menggunakan Persamaan 2.7.

$$L_{AVERAGE} = 10 \log_{10} \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^{i=n} 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (2.7)$$

Dengan mengetahui nilai NC ruangan yang disyaratkan, maka dapat kita ketahui besarnya tingkat tekanan bunyi bising latar belakang yang diperbolehkan, untuk kemudian dibandingkan dengan kondisi bising latar belakang yang ada dan diambil tindakan pengendalian yang diperlukan jika ditemukan ketidaksesuaian.

- **Distribusi Tingkat Tekanan Bunyi**

Pada waktu mendesain sebuah ruangan auditorium diupayakan agar semua pendengar pada semua posisi dapat menerima tingkat tekanan bunyi yang sama. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi kesalahan atau perbedaan persepsi pendengar pada posisi yang berbeda terhadap informasi yang disampaikan oleh pembicara. Untuk mencapai tujuan ini disyaratkan distribusi tingkat tekanan bunyi pada seluruh ruangan merata, yaitu dipenuhinya selisih tingkat tekanan bunyi terukur pada posisi pendengar terdekat dan terjauh dengan pembicara tidak lebih dari 6 dB.

Pada ruangan yang kecil dimana pembicara dengan level suara normal dapat menjangkau pendengar dengan posisi terjauh dari pembicara. Dapat dipastikan tingkat tekanan bunyi pada ruangan kecil merata. Untuk ruangan yang besar hal ini sulit dicapai dimana pembicara dengan level suara normal tidak mampu mencapai posisi pendengar terjauh. Untuk mengatasi masalah tersebut, hal yang dapat dilakukan adalah dengan meninggikan level suara. Akan tetapi ini akan menyebabkan pendengar terdekat menerima suara yang lebih tinggi dari pendengar terjauh, sehingga distribusi suara tetap tidak merata.

Cara yang dapat digunakan untuk mencapai distribusi tingkat tekanan bunyi yang merata terutama pada ruangan besar adalah penggunaan sistem tata suara dengan penguat suara yang terdistribusi [Lawrence, 1982].

- **Kejelasan Pembicaraan (Speech Intelligibility)**

Tingkat kejelasan pembicaraan merupakan besaran subyektif dimana tingkat penangkapan pendengar terhadap

informasi yang disampaikan oleh pembicara sangat dipengaruhi oleh kondisi dari masing-masing pendengar. Namun kini telah banyak digunakan metode untuk menentukan tingkat kejelasan pembicaraan yang lebih obyektif, caranya dengan memanfaatkan parameter akustik ruang yang terukur.

Pada standar ISO 9921 tentang “Assessment of Speech Communication” dijelaskan bahwa speech intelligibility adalah ukuran dari efektifitas dari pemahaman pembicaraan. Untuk menyatakan tingkat kejelasan pembicaraan dapat digunakan dua metode yang berbeda secara prinsip, yaitu :

- Penilaian subyektif, yang didasarkan pada penggunaan pembicara dan pendengar
- Penilaian obyektif, yang didasarkan pada parameter fisik yang dapat diukur pada jalur penjaran bunyi.

1. Penilaian Subyektif

Ada berbagai macam teknik untuk menampilkan materi tes ke subyek dan jenis respon yang digunakan. Pada intinya pendengar diperintahkan untuk mengenali kata uji yang diucapkan pembicara, baik kata yang memiliki arti maupun sembarang kata tidak berarti yang banyak mengandung kombinasi acak antara konsonan, vokal dan konsonan (disebut CVC).

Dengan cara ini, sedikitnya dibutuhkan 4 orang pendengar dan 4 orang pembicara sehingga didapatkan 16 pasangan pembicaraan. Metode respon pendengar mungkin terbuka atau tertutup. Respon terbuka memungkinkan pendengar untuk merespon dan berpikir apa yang dia dengar. Respon tertutup menawarkan kepada pendengar beberapa alternative jawaban untuk dipilih.

Namun usaha ini cukup sulit untuk diterapkan karena hasilnya tergantung pada respon dari masing-masing individu, pengulangan kembali metode pengujian juga

kurang maksimal sebab kondisi pembicara dan pendengar belum tentu sama dengan sebelumnya.

2. Penilaian Obyektif

Penilaian dengan cara ini bukanlah pengukuran terhadap kejelasan pembicaraan yang terjadi, melainkan untuk menentukan parameter fisis yang digunakan untuk dapat memprediksi tingkat kejelasan pembicaraan berdasarkan metode tertentu. Faktor-faktor yang mempengaruhi kejelasan pembicaraan (Speech Intelligibility) antara lain adalah :

1. Lamanya waktu dengung
2. Perbandingan sinyal terhadap bising (S/N)
3. Peletakan sumber suara yang tidak segaris
4. Jarak sumber terhadap pendengar terjauh
5. Refleksi suara dari permukaan berjarak dekat yang terlalu kuat atau refleksi yang datang dengan interval waktu yang terlalu besar terhadap suara awal

Adapun faktor lain yang mempengaruhi tingkat kejelasan pembicaraan selain diatas adalah system tata suara elektronik yang digunakan dalam ruangan. Letak tata suara tersebut juga perlu diperhatikan. Jika ruangan cukup besar, maka hendaknya tata suara diupayakan menyebar agar dapat menjangkau seluruh pendengar.

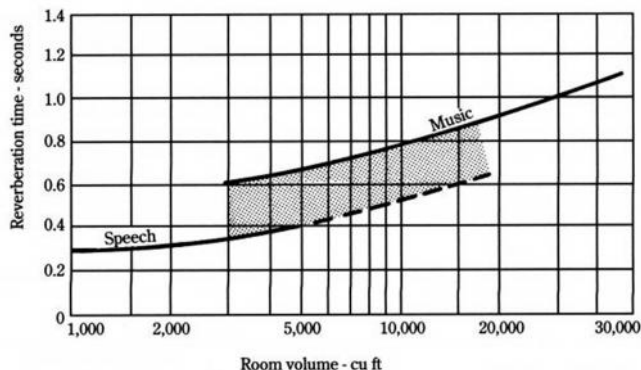
Perangkat sistem tata suara yang digunakan sangat berkaitan erat dengan frekuensi. Adanya ketidaksesuaian frekuensi menyebabkan penurunan speech intelligibility. Kemungkinan yang dapat terjadi adalah penggunaan mikropon yang tidak tepat, ketidaksesuaian pada penguat audio, dan pada pengeras suara. Mikrofon yang ada telah didesain secara spesifik, hal ini dapat dilihat pada spesifikasi mikrofon yang mencantumkan rentang frekuensi yang mampu diterima dengan baik oleh pendengar. Begitu juga dengan pengeras suara, hendaknya menggunakan pengeras suara

yang baik, yang mampu untuk memberikan daya dan tingkat tekanan bunyi yang stabil.

- Waktu Dengung (RT)

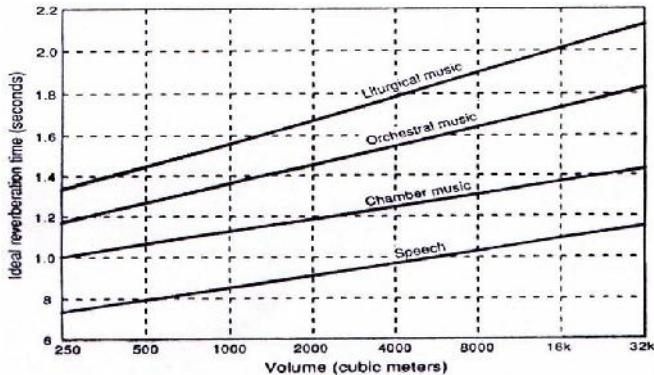
Sebuah ruang memerlukan waktu dengung yang optimal untuk mendukung fungsinya sebagai tempat pembicaraan atau musik. Ruangan musik memerlukan waktu dengung sebesar 2 detik sedangkan untuk pembicaraan memerlukan 1 detik. Untuk mendapatkan kejelasan suara (intelligibility) yang baik untuk pembicaraan, maka diperlukan waktu dengung yang konstan untuk semua pita frekuensi. Sedangkan musik memerlukan waktu dengung yang lebih panjang pada frekuensi rendah untuk memberikan penguatan suara bass. Grafik perbandingan ruang musik dengan ruang pembicaraan dapat dilihat pada Gambar 2.8.

Waktu dengung yang terlalu panjang akan menyebabkan suara tidak jelas, sedangkan waktu dengung yang terlalu pendek akan menimbulkan kesan “mati” pada ruangan tersebut dan menimbulkan kesulitan dalam mendengarkan. Lama waktu dengung yang sesuai untuk sebuah ruang juga tergantung pada jenis sumber suara yang dimainkan dan juga volume ruang ruang tersebut.



Gambar 2.4 Perbandingan Waktu Dengung Ruang Musik dengan Ruang Pembicaraan[Baron,1993]

Harga waktu dengung pada berbagai volume ruang diukur pada frekuensi 500 Hz yang dapat dilihat pada Gambar 2.8 masih tampak pada Gambar 2.78 tersebut bahwa pada volume yang sama, ruang musik membutuhkan waktu dengung yang lebih lama daripada ruang pembicaraan.



Gambar 2.5 Waktu Dengung pada Beberapa Volume Ruang Diukur pada Frekuensi 500 Hz[B.J.Smith,1996]

Waktu dengung ruangan dapat dikendalikan dengan melalui pemilihan bahan akustik yang dipasang pada ruangan. Bahan dengan koefisien absorpsi besar dapat digunakan untuk menurunkan waktu dengung, sedangkan untuk menaikkan atau memperlama dapat digunakan bahan reflektif atau dengan memanfaatkan pengaturan dari perangkat sistem tata suara. Hal yang harus dihindari berkaitan dengan waktu dengung adalah waktu dengung yang terlalu panjang sehingga menyebabkan cacat akustik berupa echo.

- $\% AL_{CONS}$

Suatu pembicaraan akan melibatkan berbagai macam kata yang terdiri dari kombinasi huruf vokal dan konsonan. Dalam ilmu akustik, kondisi ruang yang tidak kondusif dapat menyebabkan ketidakjelasan pembicaraan antara sumber dan penerima dalam jarak tertentu. Sehingga penerima akan sulit

membedakan antara huruf vokal dan konsonan atau disebut rugi konsonan. Akibatnya makna dari informasi yang disampaikan berbeda dari makna sebenarnya.

Nilai % AL_{CONS} memberikan batasan kondisi untuk tingkat kejelasan pembicaraan dalam suatu ruang. Tingkat kejelasan pembicaraan sangat baik diberikan nilai % $AL_{CONS} < 10 \%$. Sedangkan nilai antara 10% - 15% tingkat kejelasan cukup baik. Sedangkan nilai $> 15 \%$ menyatakan tingkat kejelasan pembicaraan yang sangat buruk dimana pendengar sulit memaknakan arti pesan secara tepat[2]. Nilai % AL_{CONS} untuk jarak tertentu penerima dari sumber dinyatakan dengan Persamaan 2.15 [Lawrence,1982]

$$\%AL_{CONS} = \frac{200 \cdot D_2^2 RT_{60}^2 (n+1)}{VQM} \quad (2.8)$$

Di mana :

D_2 = adalah jarak sumber dengan titik terdekat (m)

RT_{60} = waktu dengung (s)

V = volume ruangan dalam (m^3),

Q = directivity factor

n = 1

M = 1

2.6 Insulasi Akustik

Pemetaan elemen akustik akan mempengaruhi kinerja suatu ruang untuk menjalankan fungsinya beberapa informasi didapat bahwa pemilihan material dalam suatu ruang harus berdasarkan fungsi suatu ruangan tersebut sehingga apabila ruangan tersebut memetakan dalam elemen akustik dalam sebuah ruangan akan menentukan kinerja akustik ruang tersebut sesuai dengan fungsinya. Disini saya lampirkan berbagai spesifikasi ruang yang cocok sehingga ruangan tersebut dapat memberikan tingkat kenyamanan sesuai dengan fungsinya.

- Ruang Kelas
Terdiri dari elemen pemantul dan penyebar pada dinding ruangan dan lantai bisa keramik parket atau karpet.

- Masjid
Terdiri dari kombinasi antara dinding penyerap dan pemantul.
- Ruang Auditorium
Dinding terdiri dari pemantul atau penyebar dan pada dinding belakang terdiri dinding pemantul atau penyebar, langit-langit penyebar-penyerap.
- Ruang konser akustik/philiharmonik
Maksimalkan elemen pemantul dan hindari pemakaian elemen penyerap.
- Ruang Studio
Pada umumnya kebanyakan menggunakan elemen penyerap pada dindingnya.
- Kamar tidur
Kombinasi Kombinasi 3 elemen sesuai dengan kondisi bising dan kenyamanan individu.
- Ruang bioskop
Mayoritas dilengkapi dengan elemen penyerap
- Gelanggang olahraga
Lantai keras, langit langit kombinasi penyerap-penyebar, dinding kombinasi pemantul-penyebar-penyerap (tergantung geometri).
- Ruang kantor tapak terbuka
Dinding bebas, langit-langit penyerap, lantai bebas

2.7 Definition/Deutlichkeit, D-50

Salah satu cara untuk menentukan tingkat kejelasan pembicaraan adalah dengan *Definition*. Awalnya *Definition* merupakan kemampuan pendengar membedakan suara dari masing-masing instrument dalam sebuah orkestra. Namun kemudian, ternyata parameter ini juga dapat digunakan dalam penentuan intelligibilitas/kejelasan pembicaraan suatu ruangan. Caranya adalah dengan memanfaatkan konsep perbandingan antara energi yang termanfaatkan dengan energi suara total dalam ruangan

$$D - 50 = \frac{\int_0^{50ms} p^2(t)dt}{\int_0^{\infty} p^2(t)dt} \cdot 100\% \quad (2.9)$$

Pengukuran intelligibilitas

mengacu pada lama waktu suara pantul awal antara 50-80 ms, dimana energi suara yang termanfaatkan dibagi dalam energi suara langsung dan energi suara pantulan yang sampai pada posisi pendengar dalam waktu 50 ms dari suara langsung, sehingga jika lebih dari 50 ms maka sudah dapat dianggap sebagai suara yang merusak. Untuk dapat menentukan D50 dapat diperoleh dari persamaan. Nilai *Definition* yang diperoleh, kemudian dapat digunakan untuk menentukan seberapa besar tingkat kejelasan pembicaraan dalam ruangan berikut kategorinya.

Tabel. 2.4. Kategori penilaian SI berdasarkan D50

D-50 (%)	SI (%)	Kategori
0-20	0-60	sangat buruk
20-30	60-80	buruk
30-45	80-90	cukup/sedang
45-70	90-97.5	bagus
70-80	97.5-100	sangat bagus

Dari tabel tersebut tampak bahwa untuk mencapai kejelasan pembicaraan yang diinginkan, maka minimal harus memenuhi criteria *Definition* sebesar 45 %. Sedangkan nilai *Definition* 30 % merupakan border line kejelasan pembicaraan.

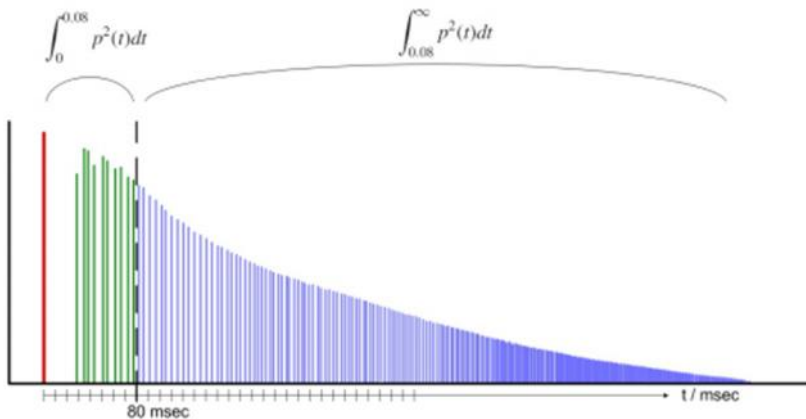
Penelitian di sejumlah ruang kuliah, auditorium dan gereja telah membuktikan bahwa terdapat hubungan antara *Definition* dengan speech intelligibility sebagaimana dinyatakan dalam Gambar 2.6. Dari Gambar 2.6 dan Tabel 2.2 tersebut tampak bahwa semakin besar nilai D-50 maka semakin baik pula tingkat

kejelasan pembicaraannya, karena berarti semakin banyak energi suara yang dimanfaatkan dalam waktu 50 ms.

2.8 Clarity/Klarheitsmass, C-50, C-80

Kejernihan suara merupakan suatu ukuran yang bermanfaat dalam menilai kualitas suara musik dan juga penting untuk pembicaraan. Dengan asumsi suara yang ditangkap pendengar dalam percakapan pada waktu sekitar 50 ms, maka energi suara yang ada dalam ruangan masih menjadi satu bagian dengan energi suara langsung. Jika pada 50 ms energi suara sangat besar dalam hubungannya dengan suara yang datang kemudian, maka nada suara dalam percakapan berbeda keadaanya antara satu dengan lainnya dan akan memberikan rasa tersendiri dalam tingkat kejernihan suara (Clarity).

$$C - 50 = 10 \log \frac{\int_0^{50ms} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (2.10)$$



Gambar 2.6 Grafik pengertian clarity

Umumnya untuk ruang pembicaraan berlaku C-50, sedangkan C-80 digunakan untuk ruang musik. Clarity/tingkat kejernihan sangat terkait dengan waktu dengung. Untuk batas percakapan nilai C-50 > 0 dB dapat dikategorikan baik. Sedangkan yang masih dapat ditolelir adalah > -2 dB.

Clarity merupakan rasio energi suara yang dibangkitkan dan dimanfaatkan terhadap suara pantulan rasio. Dengan kata lain, Clarity dapat didefinisikan sebagai dari energi suara awal yang datang hingga 0.05 (untuk C-50) atau 0.08 (untuk C-80) detik pertama setelah suara langsung, terhadap energi suara yang datang setelahnya, sebagaimana perumusan Abdel Alim berikut

2.9 Cacat Akustik

- Gema

Gema merupakan cacat akustik- ruang yang paling berat, dapat diamati bila bunyi dipantulkan oleh suatu permukaan batas dalam jumlah yang cukup dan tertunda cukup lama untuk dapat diterima sebagai bunyi yang berbeda dari bunyi yang merambat langsung dari sumber ke pendengar.

- Pemantulan Yang Berkepanjangan (Long –delayed)

Pemantulan yang berkepanjangan adalah cacat yang sejenis dengan gema, tetapi penundaan waktu antara penerimaan bunyi langsung dan bunyi pantul agak lebih singkat.

- Gaung

Gaung terdiri dari gema-gema kecil yang berurutan dengan cepat dan dapat dicatat serta diamati bila ledakan bunyi singkat, seperti tepukan tangan atau tembakan, dilakukan diantara permukaan –permukaan pemantul bunyi yang sejajar, walau kedua pasangan dinding lain yang berhadapan tidak sejajar, menyerap atau merupakan permukaan – permukaan difus. Eliminasi permukaan – permukaan pemantulan yang berhadapan dan saling sejajar adalah salah satu cara untuk menghindari gaung. Gaung

tidak akan diamati bila sumber bunyi tidak diletakkan diantara permukaan – permukaan sejajar yang kritis.

Gema, pemantulan yang berkepanjangan, dan gaung dapat dicegah dengan memasang bahan penyerap bunyi pada permukaan pemantul yang menyebabkan cacat ini. Bila penggunaan lapisan akustik sepanjang daerah- daerah kritis ini tidak memungkinkan, maka permukaan itu harus dibuat difusif atau miring, agar menghasilkan pemantulan yang ditunda secara singkat dan menguntungkan.

- **Pemusatan Bunyi**

Pemusatan bunyi disebabkan oleh pemantulan bunyi pada permukaan – permukaan cekung. Intensitas bunyi di titik “hot spot” sangat tinggi dan selalu terjadi dengan kerugian pada daerah lain ,atau “titik mati “ (dead spot), dimana kondisi mendengar adalah buruk. Adanya titik-titik ini menyebabkan distribusi energi bunyi yang tidak merata dalam ruangan. Eliminasi gejala ini dalam akustik ruang adalah penting.

Dinding-dinding cekung yang besar dan tak terputus, terutama yang memiliki jari – jari kelengkungan yang besar, harus ditiadakan atau dilapisi dengan bahan penyerap bunyi yang efisien. Bila permukaan cekung yang besar tidak dapat dihindari atau pemakaian lapisan akustik tidak memungkinkan, maka permukaan ini harus diletakkan sedemikian rupa sehingga permukaan tersebut memusatkan bunyi disuatu daerah diluar atau diatas daerah penonton.

Pemilihan dan pemasangan sistem penguat suara yang cocok dan tepat dapat mengurangi gejala akustik gema, pemantulan yang berkepanjangan, gaung dan pemusatan bunyi yang merusak, tetapi sistem tersebut tidak akan pernah dapat mengatasinya dengan sempurna.

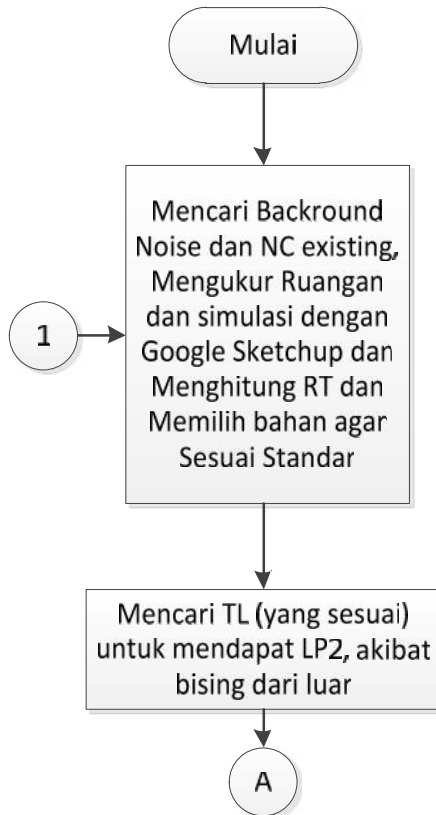
BAB III

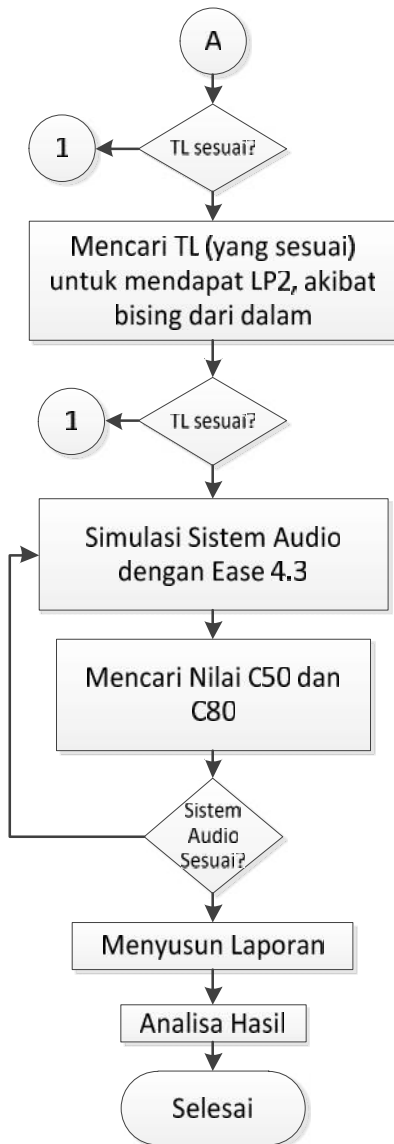
METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian desain akustik ruang pada ruang home theater multifungsi ITS, terdapat metodologi yang dilakukan secara bertahap.

3.1 Alur Penelitian

Berikut merupakan tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dapat dijabarkan melalui *flowchart* berikut.





Gambar 3.1 Alur Penelitian

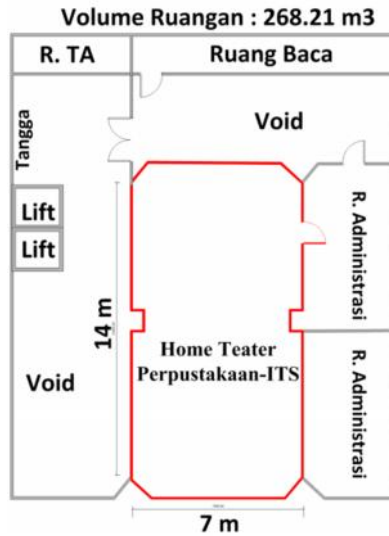
Dari flowchart diatas, tahap pertama adalah mengukur backround noise dan NC existing pada objek penelitian. Setelah dilakukan maka dilanjutkan dengan mengukur karakteristik ruangan yaitu volume ruangan serta material penyusun ruanagan. Yang kemudian disimulasikan dengan menggunakan Google Sketchup. Setelah itu menghitung RT dan memilih material yang sudh ditentukan agar sesuai dengan standar. Setelah dilakukan maka selanjutnya adalah mencari Transmission Loss (TL) yang sesuai untuk mendapatkan L_{P2} , akibat bising dari luar. Yang kemudian mencari nilai TL yang sesuai untuk mendapatkan L_{P2} , akibat bising dari dalam. Dalam langkah ini dan sebelumnya, jika tidak sesuai dengan standar, maka perlu mengulang langkah dalam pemilihan material. Selanjutnya adalah simulasi sistem audio dengan menggunakan Ease 4.3. yang kemudian mencari parameter akustik melalui sistem tersebut yaitu C-50 dan C-80. Jika langkah tersebut belum sesuai standar maka harus mengulangi dalam hal simulasi untuk menemukan sound yang cocok. Jika sudah sesuai maka dilanjutkan dengan analisa data dan diakhiri dengan penyusunan laporan secara sistematis.

3.2 Deskripsi Home Theater ITS

Home theater ITS merupakan ruangan berkapasitas 100 orang dengan bentuk dasar persegi panjang. Ruanagan ini terletak didalam gedung perpustakaan lantai 3. Ruangan ini memiliki volume sebesar 261.21 m^3 .



Gambar 3.2 Home Theater ITS sebelum desain baru



Gambar 3.3 Home Theater Desain baru tampak atas



Gambar 3.4 Denah Home Theater Tampak Samping

Tabel 3.1 Daftar Material Desain Baru

No	Item	Material	A (m ²)	Jumlah
1	Kursi	Pillowbaf1	-	100
2	Lantai	Carpt LPAD	95.9181	-
3	Speaker	Plast455	-	10
4	Dinding	Fiber 300	102.3098	-
5	Langit	Gypsm 300	96.0554	-
6	Layar	gls/WL 1"	8.4435	-
7	Pintu	Plywood 3/8	1.89	-
		Total	448.9018	-

3.3 Parameter Desain

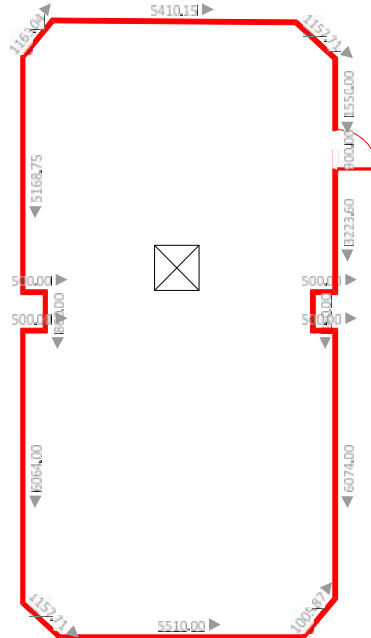
Untuk mendesain ruang home theater harus mengacu pada beberapa parameter subjektif akustik berupa, background noise, transmission loss, waktu dengung, serta parameter akustik subjektif lainnya

- Background noise pada desain mengacu pada standar dengan nilai kriteria bising (NC) sebesar 25 dB
- Insulasi Akustik pada desain harus memiliki Transmission loss yang dapat melindungi bising dari dalam maupun luar, karena sebelah ruangan adalah area kantor maka kriteria bising harus memiliki nilai 35 dB
- Waktu dengung pada desain harus memiliki nilai sebesar 0.3 sekon.
- Parameter akustik subjektif lain berupa Speech Transmission Index (STI) harus memiliki nilai >55%, untuk %Alcons harus memiliki nilai <10%, untuk nilai clarity C-50 dan C-80 harus memiliki nilai -2 sampai 2.

3.4 Prosedur Pengambilan Data dan Pengolahan Data

Prosedur pengambilan data waktu dengung ini dilakukan sewaktu siang pukul 13.00 WIB di dalam ruangan home theater sebelum didesain dengan menggunakan sound Level Meter (SLM) yang disambungkan ke laptop yang sudah terinstal software FFT Analyzer. Pengukuran ini dilakukan 3 kali di 1 titik.

Pengukuran ini dilakukan pada saat keadaan home theater kosong. Untuk membangkitkan sinyal impuls digunakan petasan. Alasan digunakan petasan ini adalah karena impuls yang dihasilkan cukup besar dan mampu menghasilkan intensitas bunyi sampai 110 dB.



Gambar 3.5 Titik ukur waktu dengung

3.5 Proses Desain dan Simulasi

Simulasi dilakukan dengan menggunakan software Ease 4.3. yang pertama dilakukan adalah membuat model bangunan home theater terlebih dahulu dengan ukuran yang sesuai dengan kondisi lapangan. Setelah itu material pada dinding simulasi diganti sesuai dengan yang ada. Setelah pemodelan selesai langkah berikutnya adalah melakukan akustik analisis dengan menggunakan metode sabine. Setelah RT telah memenuhi standar maka dibuat sistem audio agar sesuai dengan standar

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi tentang pemaparan data-data yang telah diperoleh dari pengukuran lapangan beserta hasil simulasi dengan software untuk mengetahui karakteristik akustik dan hasil desain baru home theater ITS.

4.1 Hasil Pengukuran

4.1.1 *Backround Noise Existing*

Pengukuran *Backround Noise* dilakukan di 1 titik dengan diambil selama 1 menit, saat semua kegiatan di lantai 4 pada puncak aktivitas. Bising latar belakang yang diukur dalam hal ini adalah tingkat tekanan bunyi yang dihasilkan oleh bising dari peralatan yang ada didalam ruangan. Pengukuran dilakukan dengan mengoperasikan semua lampu dan penyejuk ruangan untuk mendapatkan kondisi yang mendekati pengoperasian ruang sehari-hari. Hasil pengukuran bising latar belakang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 *Backround Noise Existing*

	Frekuensi (Hz)						
TTB (dBA)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	50.7	44.4	42.6	41.3	39.8	36.6	34.8

Dari hasil pengukuran *background noise* yang sudah ada, didapat *Noise Criteria* sebesar 40 dB. Artinya bahwa bangunan home theater yang sudah ada tidak sesuai dengan standar yang aada, dimana ruangan home theater harus memiliki NC sebesar 25 dB. Sehingga diperlukan desain insulasi akustik yang baik agar *background noise* sesuai dengan standar yaitu memiliki NC 25.

4.1.2 Pengukuran Waktu Dengung *Existing*

Pengukuran waktu dengung (RT) ruangan ditentukan pada 1 titik tepat di tengah ruangan yang dianggap dapat mewakili titik-titik pada area audiens dan dinyatakan dalam RT60. Waktu dengung didapat melalui pengukuran respon impulse dengan menggunakan sinyal impuls berupa letusan petasan.

Tabel 4.2 Waktu dengung *existing*

Frekuensi (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
RT60 (s)	0.9	0.9	1	1.08	0.97	0.75	0.7

Menurut standar, waktu dengung yang diperbolehkan untuk home theater adalah sebesar 0.3 detik, jika melihat tabel 4.2 diperoleh waktu dengung *existing* sebesar 0.97 detik.

4.2 Analisa Perhitungan Desain Home Theater

4.2.1 Menghitung TL Akibat Bising dari Luar ke Dalam

Untuk mencari TL akibat bising dari luar ke dalam, diperlukan data dari TTB akibat aktifitas dari luar dan TTB yang sesuai dengan NC pada Home Theater.

Tabel 4.3 TL akibat bising luar

	Frekuensi (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L _{P2}	61.34	56.44	53.78	51.45	48.55	45.76	41.33
L _{P1}	48	41	35	31	29	28	27

- **Menghitung TL Densitas**

TL densitas adalah nilai transmissi akibat dari densitas material, bisa dihitung dengan rumus :

$$TL = (20 \log W + 20 \log f) - C$$

- f = frekuensi (Hz)
 W = kerapatan Permukaan (kg/m²/cm)
 C = 47

Tabel 4.4 TL Densitas material

<i>Densitas Surface</i> (Kg/m ² /cm)					
Material		Plywood	Fiber	Door Wood	Plywood + Fiber
Frekuensi (Hz)	31.5	1	24.9	10.5	24.9
	63	7	30.9	16.5	30.9
	125	13	36.8	22.5	36.8
	250	19	42.8	28.5	42.9
	500	25	48.9	34.5	48.9
	1000	31	54.9	40.6	54.9
	2000	37	60.9	46.6	60.9
	4000	43.1	66.9	52.6	66.9
	8000	49.1	73	58.6	73

• **Menghitung nilai koefisienisien transmisi tiap material**

Nilai koefisienisien transmisi los pada tiap material dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\dagger = \frac{1}{\frac{TL}{10^{10}}}$$

Dimana

= Koefisienisien Transmisi

TL = Transmisi Loss yang sudah dihitung

$$\bar{\tau} = \frac{S_1\tau_1 + S_2\tau_2 + \dots + S_n\tau_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}$$

dimana

$\bar{\tau}$ = koefisien transmisi dinding rata rata

τ = koefisien Transmisi

S_1 = luas permukaan (A dalam tabel)

Tabel 4.5 Koefisienisien transmisi material

Frekuensi (Hz)	Koefisienisien transmisi material		nilai koefisienisien transmisi material rata-rata
	Door Wood	Brick+Plywood +fiber	
125	0.00556900	0.00020400	0.00086800
250	0.00139200	0.00005110	0.00021700
500	0.00034800	0.00001280	0.00005430
1000	0.00008700	0.00000319	0.00001360
2000	0.00002180	0.00000080	0.00000339
4000	0.00000544	0.00000020	0.00000085
8000	0.00000136	0.00000005	0.00000021

- **Menghitung TL komposit**

TL komposit merupakan besarnya nilai TL dalam sebuah dinding yang sudah dikombinasikan dengan beberapa material, TL komposit dapat dihitung melalui :

$$TL_{comp} = 10 \log \frac{1}{\bar{\tau}}$$

Dimana :

TL_{comp} = Transmission loss komposit

$\bar{\tau}$ = koefisien transmisi material rata-rata

Tabel 4.6 Koefisien transmisi material


Frekuensi (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TL Komposit (dB)	30.6	24.6	22.6	23.6	24.7	25.7	23.7

- **Menghitung L_{p2}**

L_{p2} merupakan besarnya Tingkat tekanan bunyi dari titik pendengar, nilai L_{p2} dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$L_{p2} = L_{p1} - TL + 10 \log(0.25 + SW / R)$$

Tabel 4.7 nilai L_{p2}

Frekuensi (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	0.01	0.2	0.7	0.8	0.6	0.5	0.4
(R)	0.7	3.0	10.7	13.7	9.8	7.9	6.6
L_{p2} (dBA)	24.7	25.8	25.1	21.8	17.8	14.0	11.6

4.2.2 Menghitung Waktu dengung

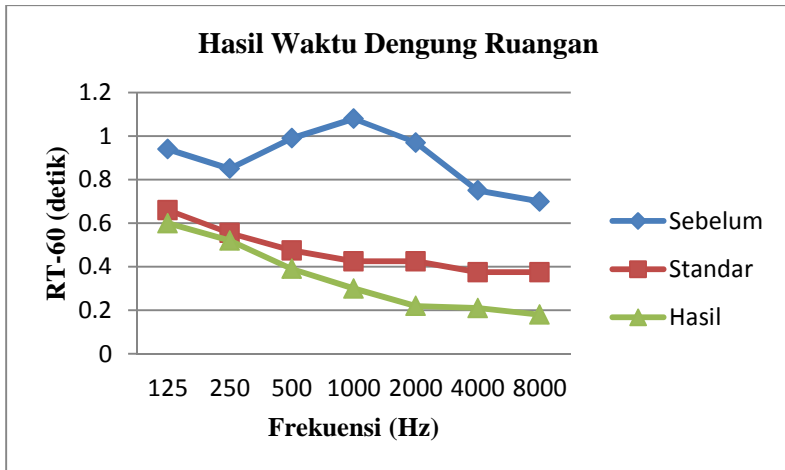
Dengan data yang sudah didapat, maka dapat disimulasikan dengan menggunakan software Ease 4.3 sebagai berikut :

Tabel 4.8 Waktu dengung hasil simulasi

	Frekuensi (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Standar (s)	0.66	0.56	0.48	0.43	0.43	0.38	0.38
Hasil (s)	0.6	0.52	0.39	0.3	0.22	0.21	0.18

Tabel 4.9 Hasil Analisa Desain Waktu Dengung

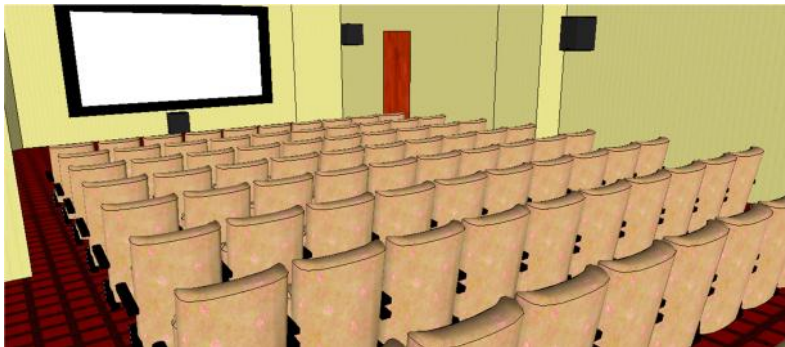
ANALISIS LINGKUNGAN AKUSTIK																
Deskripsi Permukaan Bahan/Material atau Obyek	Luas Permukaan (m ²)		a _{mid-band}										Sa (m ²)			
			a ₁₂₅	a ₂₅₀	a ₅₀₀	a ₁₀₀₀	a ₂₀₀₀	a ₄₀₀₀	a ₈₀₀₀	Sa ₁₂₅	Sa ₂₅₀	Sa ₅₀₀	Sa ₁₀₀₀	Sa ₂₀₀₀	Sa ₄₀₀₀	Sa ₈₀₀₀
Lantai Karpas	138.32	0.2	0.3	0.45	0.53	0.6	0.64	0.65	0.65	27.66	41.50	62.24	73.31	82.99	88.52	89.91
Dinding 300 Fiber	102.3098	0.1	0.21	0.35	0.43	0.49	0.53	0.56	0.56	10.23	21.49	35.81	43.99	50.13	54.22	57.29
Pintu, kayu	1.89	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	0.02	0.02	0.04	0.04	0.06	0.08	0.08
Layar 1 ^o gs/WL	8.4435	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.08	0.08	0.08	0.17	0.17	0.25	0.25
Ceiling gypsum	96.0554	0.1	0.15	0.24	0.32	0.49	0.52	0.55	0.55	9.61	14.41	23.05	30.74	47.07	49.95	52.83
Kursi (kosong)	100	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00
Speaker 10		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SS =	347.02		SSa =							92.60	122.49	166.23	193.25	225.42	238.03	245.36
Volume internal = V (m ³) =	268.61															
Koef. serapan akustik rerata, a _{rerata} = SSa/SS =										0.267	0.353	0.479	0.557	0.650	0.686	0.707
Waktu dengung = RT _{calc} (detik) = 0.161V/(Sa _{rerata}) =										0.47	0.35	0.26	0.22	0.19	0.18	0.18
Waktu dengung = RT _{calc} (detik) = 0.161V/[Σln(1-a _{rerata})] =										0.40	0.29	0.19	0.15	0.12	0.11	0.10
Waktu dengung optimum = RT _{opt} (detik) =										0.30						Ref :



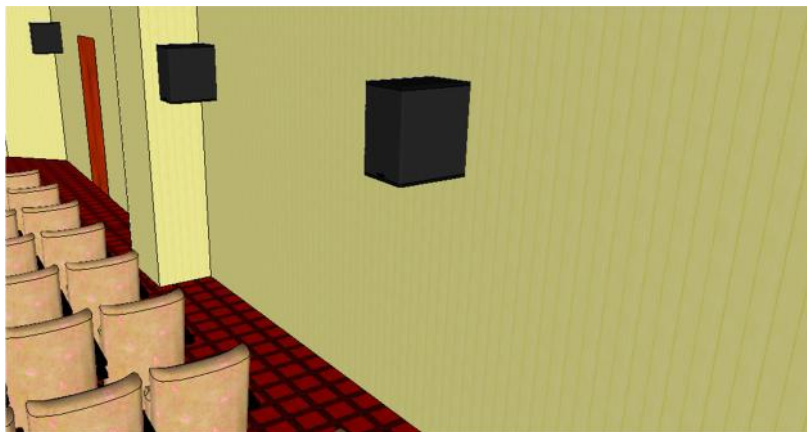
Gambar 4.1 Grafik waktu dengung (RT)

4.2.3 Hasil Desain

Sesuai dengan tabel 4.11 mengenai daftar material yang digunakan, maka desain yang digunakan adalah berikut :



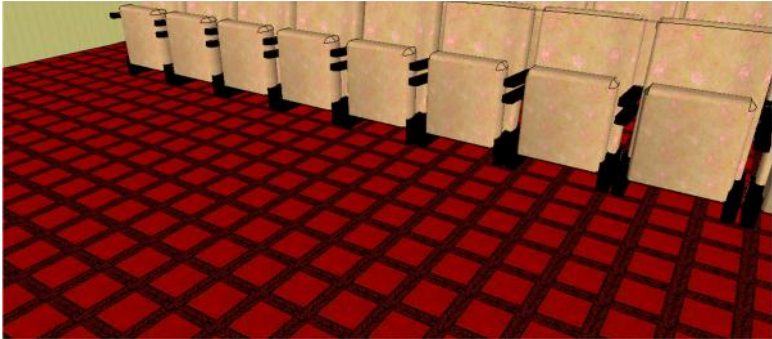
Gambar 4.2 Desain kursi yang digunakan



Gambar 4.3 Desain Dinding yang digunakan



Gambar 4.4 Desain pintu yang digunakan



Gambar 4.5 Desain Lantai yang digunakan



Gambar 4.6 Desain *ceiling* yang digunakan

Desain yang digunakan dapat dilihat pada gambar diatas, dimana pada gambar 4.2 memperlihatkan desain kursi yang digunakan adalah dengan menggunakan bahan *alice*, bahan tersebut memiliki daya serap yang tinggi. Untuk gambar 4.3 memperlihatkan desain dinding yang digunakan adalah dengan menggunakan bahan *fiber* yang sudah dilapisi oleh *brick* dan

plywood. Pada gambar 4.4 memperlihatkan desain pintu yang menggunakan kayu dengan model pintu double. Pada gambar 4.5 memperlihatkan desain lantai yang menggunakan karpet dengan sifat menyerap suara. Sedangkan untuk gambar 4.6 memperlihatkan desain ceiling yang menggunakan gypsum.

4.2.4 Menghitung Parameter Akustik Subjektif Lain

Parameter akustik subjektif lain disini meliputi nilai Speech Transmission Index (STI), %Alcons, dan clarity (C-50 dan C-80). Parameter pertama adalah STI, yaitu perbandingan energi awal 50 ms terhadap energi totalnya. Biasa dinyatakan sebagai D-50 dan lebih banyak digunakan untuk menyatakan kejelasan suara pengucapan (speech). Harga yang disarankan adalah $> 55\%$.

Tabel 4.10 hasil STI dengan simulasi

STI	125	500	1000	2000	4000	8000
Value (%)	70.46	71.36	71.50	71.99	72.23	72.19

Selain dengan simulasi, didapat nilai STI dengan persamaan 2.11 sebagai berikut :

Tabel 4.11 hasil STI perhitungan

STI	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Value (%)	68.76	68.52	68.41	68.33	68.28	68.23	68.21

Parameter kedua adalah nilai %Alcons, nilai $\% AL_{CONS}$ memberikan batasan kondisi untuk tingkat kejelasan pembicaraan dalam suatu ruang. Tingkat kejelasan pembicaraan sangat baik diberikan nilai $\% AL_{CONS} < 10 \%$. Sedangkan nilai antara 10% - 15% tingkat kejelasan cukup baik. Sedangkan nilai $> 15\%$ menyatakan tingkat kejelasan pembicaraan yang sangat buruk dimana pendengar sulit memaknakan arti pesan secara tepat[2].

Tabel 4.12 hasil %ALcons dengan simulasi

	Frekuensi (Hz)						
%ALcons	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Value (%)	4.39	4.19	4.16	4.06	4.01	4.02	4.01

Selain dengan simulasi, didapat nilai STI dengan persamaan 2.11 sebagai berikut :

Tabel 4.13 hasil %ALcons perhitungan

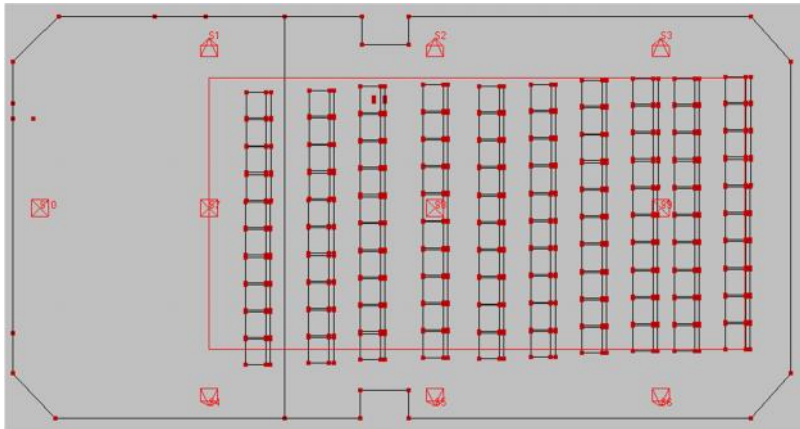
	Frekuensi (Hz)						
%ALcons	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Value (%)	4.16	4.22	4.24	4.26	4.27	4.28	4.29

4.2.5 Menghitung Nilai Clarity C-50 dan C-80

Perhitungan Clarity (C-50 dan C-80) pada ruangan dengan bantuan *Ease 4.3*, menghasilkan data seperti pada Tabel 4.13.

Tabel 4.14 hasil clarity C-80 dan C-50 dengan simulasi

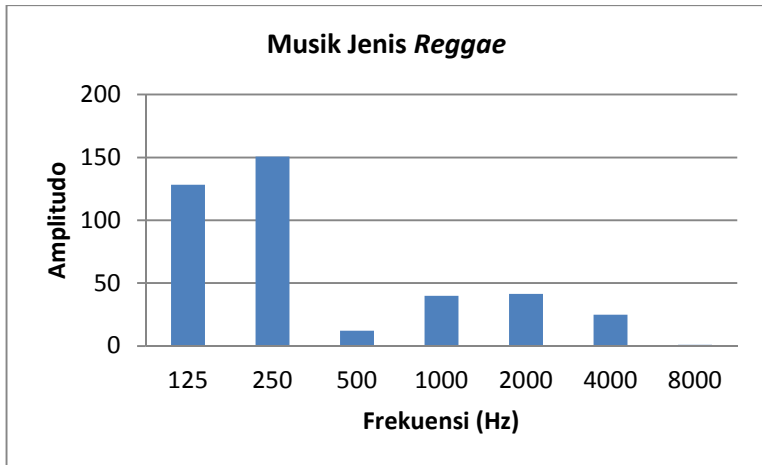
	Frekuensi (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C-50	-1.86	-1.77	-1.69	-2.5	-2.05	-2.25	0.4
C-80	-0.05	0.89	1.19	-0.53	-0.82	-1.03	1.74



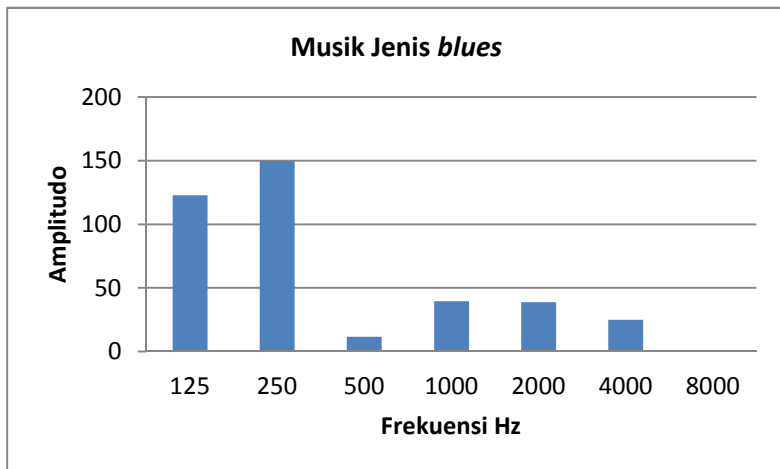
Gambar 4.7 Letak Speaker

4.2.6 Menentukan Area Optimal dalam Mendengar

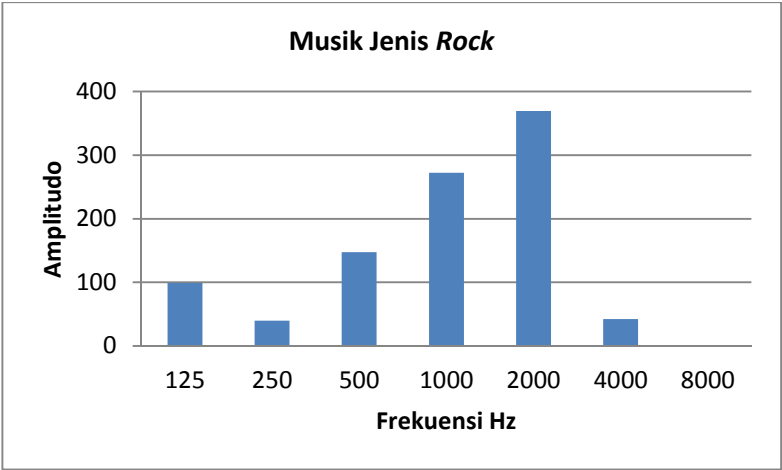
Untuk menentukan area ini terlebih dahulu ditentukan musik maupun jenis suara apa yang akan diputar dalam bangunan ini. Melihat fungsi dari ruangan ini maka dipilih musik jenis Reggae, Blues dan rock, dimana *tone* yang digunakan adalah suara gitar yang dianggap mewakili suara musik tersebut. Sedangkan untuk film digunakan jenis *Action*, *Horror* dan *Drama*, yang mana menggunakan tone berupa jeritan orang suara tembak maupun manusia dalam berbicara. Jenis file yang digunakan adalah wav yang kemudian di konvolusi dengan impulse ruangan sehingga mendapatkan suara yang seolah-olah diperdengarkan didalam ruang. Setelah suara di konvolusikan, file tersebut dibaca grafiknya dengan bantuan transformasi fourier. Maka didapat :



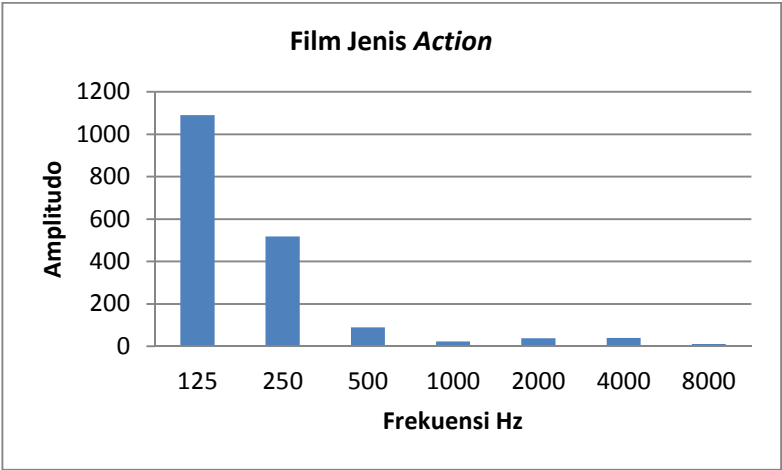
Gambar 4.8 Hasil Transformasi *Fourier Tone* Musik *Reggae*



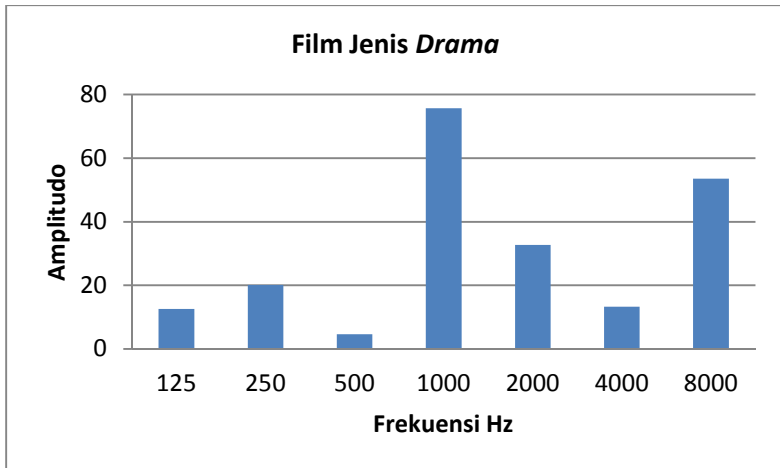
Gambar 4.9 Hasil Transformasi *Fourier Tone* Musik *Blues*



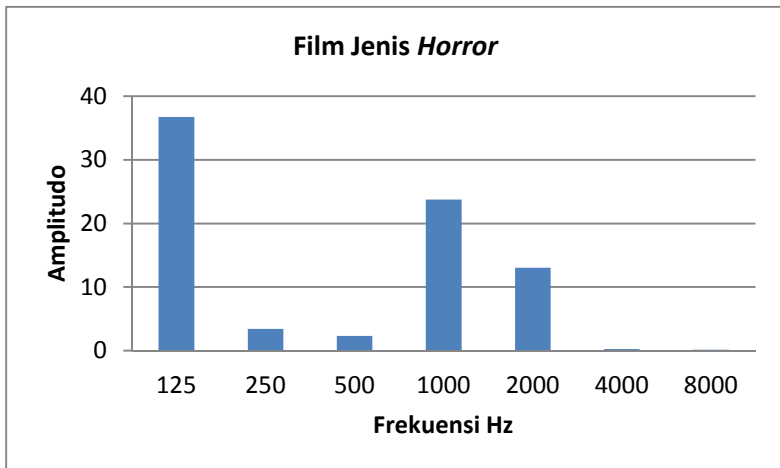
Gambar 4.10 Hasil Transformasi *Fourier Tone* Musik *Rock*



Gambar 4.11 Hasil Transformasi *Fourier Tone* Film *Action*



Gambar 4.12 Hasil Transformasi *Fourier Tone* Film *Drama*

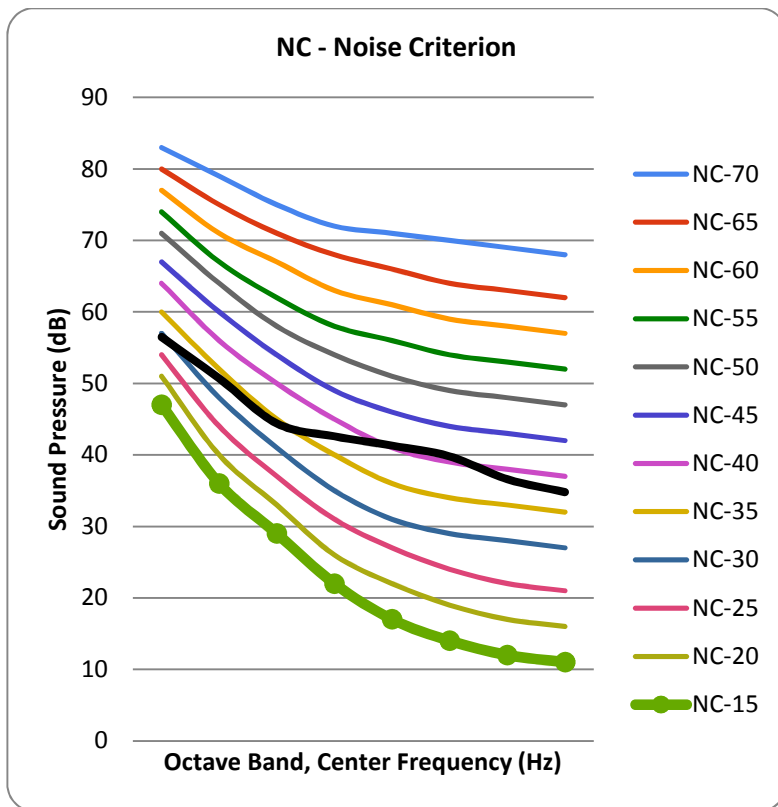


Gambar 4.13 Hasil Transformasi *Fourier Tone* Film *Horror*

4.3 Analisa Data

4.3.1 *Background Noise Existing*

Data bising latar belakang tersebut kemudian diolah dan dianalisa untuk menentukan Noise Criteria dengan cara memplotkannya pada kurva NC. Kurva NC merupakan kurva antara Tingkat Tekanan Bunyi dalam dB dan frekuensi tengah dalam pita oktaf.



Gambar 4.14 Noise Criteria

Berdasarkan tabel kriteria kebisingan, terlihat bahwa untuk keperluan pembicaraan idealnya adalah NC 25. Akan tetapi nilai ini dapat berkurang hingga NC 35 jika terdapat bising yang hanya

sesekali terdengar. Namun jika bising terjadi setiap saat maka NC 25 harus diterapkan.

Sementara, tampak pada kurva, home theater lama perpustakaan ITS Surabaya dengan mengaktifkan penerangan dan penyejuk udara memiliki kriteria kebisingan NC 40 yang berarti tidak memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai tempat pembicaraan. Ini adalah penentu awal bagaimana berhasilnya desain suatu ruang yang dirancang. Untuk menurunkan kriteria kebisingan dari 40 dB ke 25 dB adalah dengan memasang insulasi akustik yang optimal. Dengan mengetahui nilai koefisien serap pada setiap material maka dapat diukur performansi insulasi yang dirancang dengan menghitung TL.

4.3.2 Analisa waktu dengung

Untuk menganalisa dan mendapatkan waktu dengung ruangan, maka terlebih dahulu dihitung rata-rata waktu dengung pada 3 kali pengukuran. Kemudian didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.17 RT-60 sebelum di desain

	Frekuensi (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
RT60 (s)	0.94	0.85	0.99	1.08	0.97	0.75	0.7

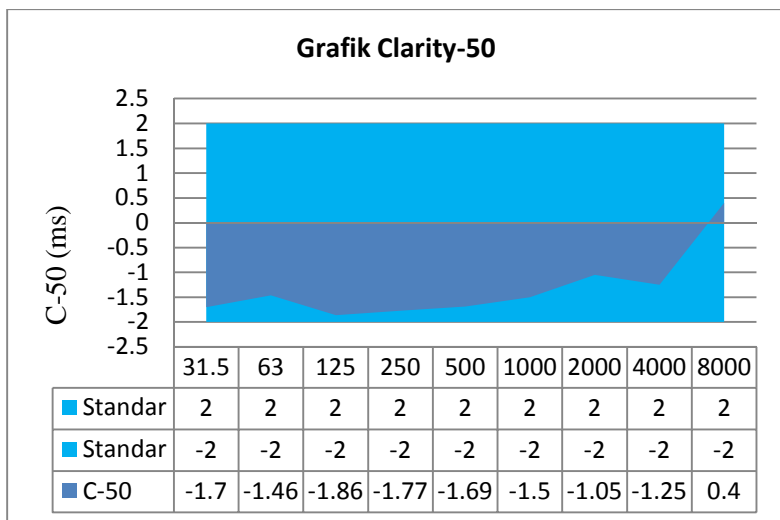
Berdasarkan Tabel diatas, home Theater perpustakaan ITS Surabaya dengan volume sebesar 268.21 m^3 memiliki waktu dengung sekitar 0.97 detik. Nilai ini jika dibandingkan dengan rekomendasi waktu dengung ruangan , akan menyatakan bahwa home Theater perpustakaan ITS Surabaya kurang bagus, karena idealnya ruangan home theater mempunyai waktu dengung sekitar 0.3-0.6 detik. Waktu dengung yang cukup panjang pada home Theater perpustakaan ITS Surabaya ini dimungkinkan karena bidang pantul dari permukaan ruangan tidak cukup untuk menyerap bunyi yang ada. Seluruh permukaan ruangan tidak memiliki sistem peredam suara. Hal ini menyebabkan suara tidak terserap dengan baik. Akibatnya suara yang memantul

membutuhkan waktu yang lama agar nilainya sama dengan bising latar belakang.

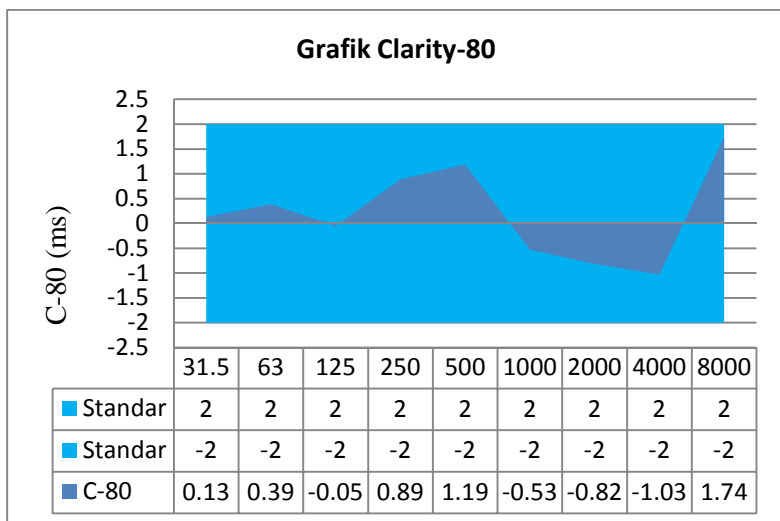
4.3.3 Analisa Kejelasan pembicaraan

Tingkat kejelasan pembicaraan (Speech Intelligibility, SI) dalam ruangan menyatakan seberapa jelas pendengar mampu menangkap informasi yang disampaikan oleh pembicara. Ukuran tingkat kejelasan pembicaraan disini berupa ukuran obyektif yang berarti tingkat kejelasan pembicaraan tersebut dapat diukur dalam bentuk parameter fisis, dan dinyatakan secara kuantitatif. Nilai kejelasan pembicaraan yang didapat dinyatakan dalam Clarity (C-50 dan 80)

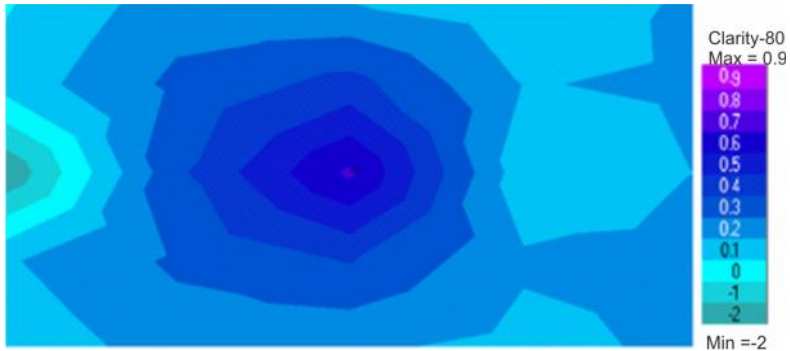
Berdasarkan dari hasil analisa data, berdasarkan data C-50 didapatkan nilai rata-rata C-50 adalah -1.65 atau bernilai negatif. Sedangkan batas minimal C-50 yang masih bisa ditoleir adalah -2dB sedangkan untuk C-80 memiliki rata-rata sebesar 0.21 . Kedua parameter tingkat kejelasan pembicaraan pada Home Theater Perpustakaan ITS ini tergolong baik. Hal ini disebabkan oleh relative besarnya energi suara yang termanfaatkan jika dibandingkan dengan energi suara total maupun energi suara sisa. Salah satu faktor penyebabnya adalah waktu dengung ruangan yang sesuai standar. Selain analisa diatas, didapatkan pula pola sebaran tingkat kejelasan pembicaraan sebagaimana diperlihatkan oleh contour-contour pada Gambar - Gambar berikut



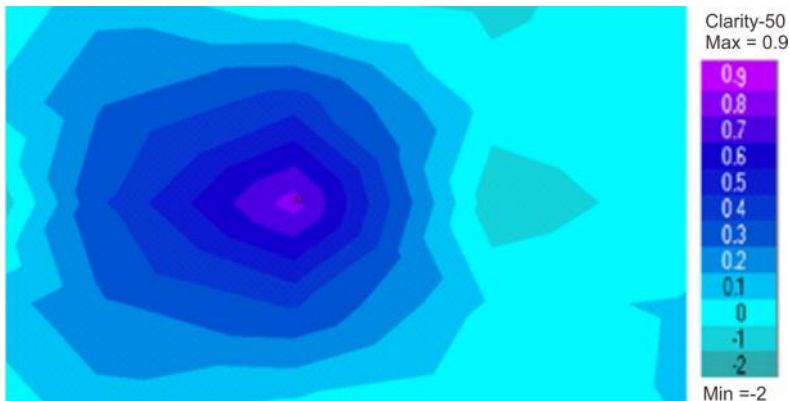
Gambar 4.15 Grafik C-50



Gambar 4.16 Grafik C-80



Gambar 4.17 kontur C-80



Gambar 4.18 kontur C-50

Dari kedua Gambar dan dapat dilihat pola penyebaran kejelasan pembicaraan untuk C-50 hampir tersebar merata diseluruh ruangan. Sedangkan untuk C-80 juga hampir merata di seluruh ruangan. Jika kita mengacu pada standar maka bisa dikatakan baik, karena nilai C-80 dan 50 dapa home theater perpustakaan ITS masuk pada range nilai -2 hingga 2, sehingga dikatakan baik.

4.3.4 Solusi Untuk Mereduksi Waktu Dengung

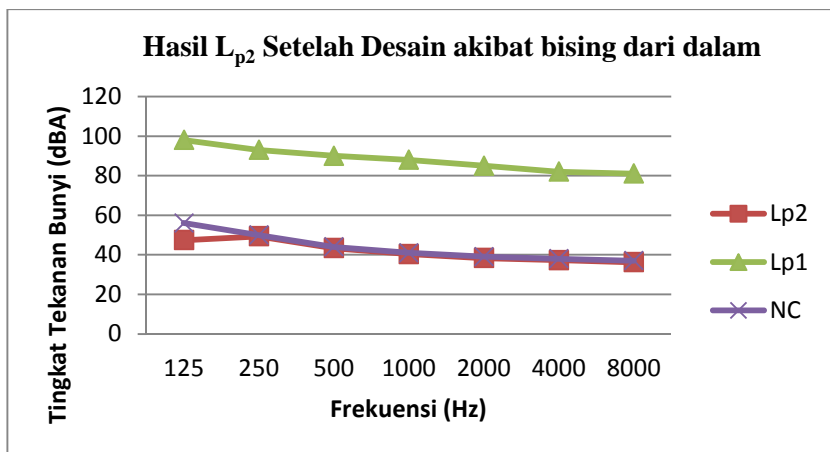
Home Theater Perpustakaan ITS di desain ulang dari awal. Beberapa properti pada home Home Theater Perpustakaan ITS juga berubah seperti dinding dan kursi. Properti-properti yang dimiliki oleh home Theater dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Didapatkan rata-rata sebesar 0.36. Nilai rata-rata sebesar 0.36 untuk ruangan home Theater perpustakaan ITS sudah cukup untuk meredam waktu dengung yang cukup panjang. Mengingat fungsi ruang home Theater, Dari data pada Tabel 4.14 dapat dilihat waktu dengung pengukuran cukup panjang yaitu 0.97 detik. Untuk mereduksi waktu dengung yang cukup panjang tersebut, hal yang dapat dilakukan adalah menggunakan peredam akustik pada dinding dan atap ruangan. Dengan menggunakan Persamaan sabine bisa didapatkan koefisienisien rata-rata ruangan untuk waktu dengung yang diinginkan. Jadi dengan memasukkan nilai waktu dengung yang diinginkan yaitu 0.3 detik dan luas permukaan total di ruangan sebesar 448.9018 m² ke Persamaan didapatkan koefisienisien rata-rata (α) untuk ruang Home Theater Perpustakaan ITS sebesar 0.2747.

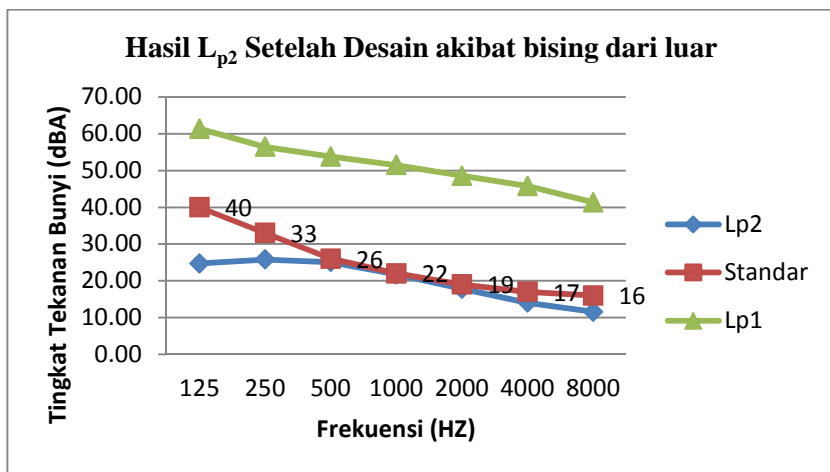
Dengan rata-rata sebesar 0.2747 dapat membuat waktu dengung Home Theater Perpustakaan ITS layak untuk difungsikan sebagai ruang pembicaraan. Untuk mendapatkan (α) rata-rata sebesar 0.2747 yatitu dengan melapisi dinding dan atap dengan peredam akustik untuk semua material peredam disarankan menggunakan material sesuai tabel 4.3.

4.3.5 Solusi Untuk Mereduksi Bising Latar Belakang

Bising latar belakang Home Theater Perpustakaan ITS dari data yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 cukup besar. Hal ini dapat kita tentukan dari plotting ke Kurva Noise Criteria yaitu sebesar 40 dalam kondisi semua peralatan diaktifkan. Untuk mengatasi kebisingan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan material sesuai dengan tabel 4.3 dengan ketebalan tertentu sesuai dengan tabel, dengan demikian, maka bising dari luar tidak akan masuk kedalam.



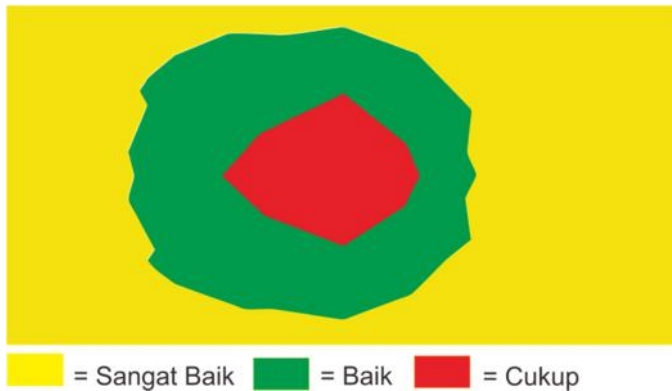
Gambar 4.19 Hasil L_{p2} Setelah Desain akibat bising dari dalam



Gambar 4.20 Hasil L_{p2} Setelah Desain akibat bising dari luar

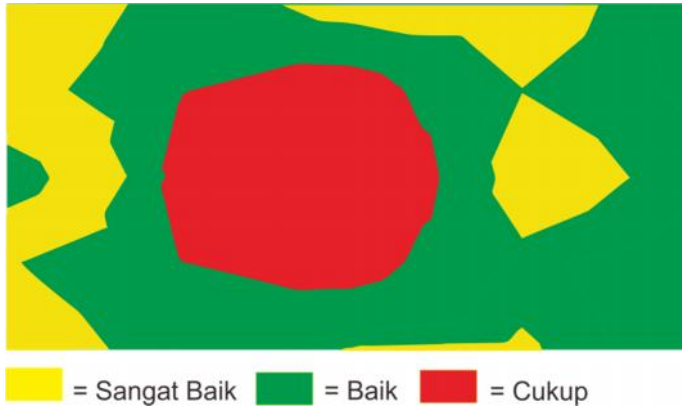
4.3.6 Area Optimal dalam Mendengar

Area optimal merupakan area yang menjadi tempat terbaik dalam mendengar dalam suatu ruangan. Area tersebut bergantung pada nilai clarity 80 yang didapat sebelumnya. Hal ini sesuai dengan teori bahwa parameter C-80 adalah parameter yang digunakan dalam musik. Area jenis satu ini adalah area terbaik untuk mendengar jenis musik reggae, blues dan film action. Hal ini didasari dengan suara yang dominan dari tiga jenis musik dan film tersebut pada frekuensi rendah yaitu 125 dan 250 Hz maka didapat :



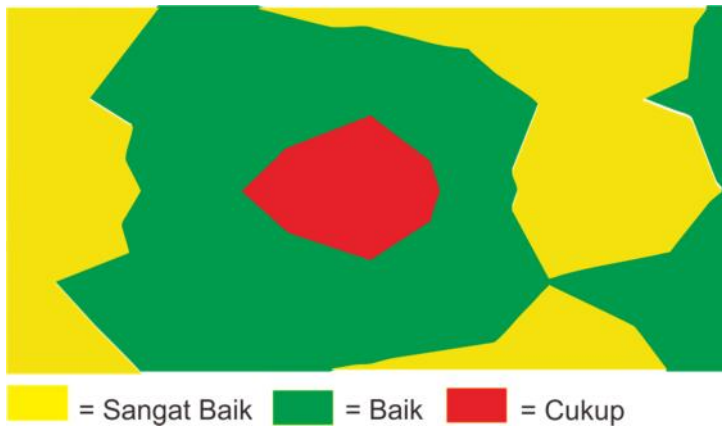
Gambar 4.21 Area optimal dalam mendengar musik jenis Reggae, blues, film action dan Horror

Kemudian adalah area jenis 2, area ini optimal untuk digunakan dalam mendengar film drama. Hal ini didasari dengan hasil dari transformasi domain frekuensi bahwa film jenis ini dominan pada frekuensi tinggi yaitu 1000, 2000 dan 8000 Hz. Maka didapat



Gambar 4.22 Area optimal dalam mendengar film jenis Drama

Kemudian adalah area jenis 3, area ini optimal untuk digunakan dalam mendengar musik Rock. Hal ini didasari dengan hasil dari transformasi domain frekuensi bahwa film jenis ini dominan pada frekuensi tengah yaitu 500,1000 dan 2000 Hz. Maka didapat



Gambar 4.23 Area optimal dalam mendengar Musik jenis Rock

4.4 Pembahasan

Auditorium yang akan dibahas kali ini memiliki fungsi utama sebagai ruang pembicaraan dan mendengarkan. Sesuai dengan fungsi utamanya sebagai tempat percakapan dan mendengarkan, auditorium haruslah memberikan kinerja yang baik untuk mendukung fungsi tersebut. Kinerja tersebut meliputi kriteria kebisingan (NC), waktu dengung ruangan (RT) dan kejelasan pembicaraan.

4.4.1 Performa Akustik Home Theater Perpustakaan ITS Surabaya

Bising latar belakang selalu ada dalam setiap ruangan. Bising latar belakang dapat ditimbulkan oleh peralatan-peralatan yang ada di ruangan tersebut atau suara-suara yang berasal dari luar ruangan. Bising latar belakang yang ditimbulkan oleh peralatan di ruangan tersebut apabila terlalu besar akan mengakibatkan penurunan kualitas kejelasan pembicaraan dalam ruangan. Di dalam sebuah ruangan yang memiliki bising latar belakang tinggi maka percakapan yang berlangsung akan berada pada tingkat tekanan bunyi yang lebih besar dari pada bising latar belakang itu sendiri sehingga informasi yang disampaikan dapat ditangkap dengan baik oleh pendengar. Pembicaraan atau percakapan dapat berlangsung dengan baik jika ruangan tersebut memiliki kriteria kebisingan (NC) antara 25-35.

Dari hasil analisa data diketahui pada Home Theater Perpustakaan ITS memiliki kriteria kebisingan NC 40, maka home Theater perpustakaan sangat tidak memenuhi kriteria ruang yang memiliki NC 25-35. Nilai NC yang tergolong tinggi tersebut disebabkan oleh :

1. Buruknya sistem peredam pada bangunan.
2. Adanya noise karena struktur

Setelah dibangun kembali, peredam akustik pada dinding akan dioptimalkan sehingga menambah performasi penyerapan bunyi di ruangan tersebut.

Salah satu perilaku bunyi dalam ruang tertutup adalah adanya fenomena dengung. Dengung merupakan suara pantul

yang muncul beberapa saat setelah suara langsung atau suara asli. Dalam hal ini faktor volume ruangan, bidang pantul, serta koefisien absorpsi dari permukaan ruangan sangat berpengaruh terhadap pantulan suara.

Auditorium yang digunakan untuk pembicaraan memerlukan waktu yang optimal sehingga percakapan dapat berlangsung dengan baik. Waktu dengung yang terlalu panjang akan mengakibatkan tidak jelasnya percakapan yang sedang berlangsung, sebab suara yang dikeluarkan oleh pembicara akan terdistorsi oleh suara yang sebelumnya telah dikeluarkan karena suara yang sebelumnya belum hilang energinya. Begitu pula sebaliknya jika waktu dengung yang terlalu pendek maka ruangan tersebut kesannya "mati". Karena suara terkesan begitu cepat hilang.

Home Theater Perpustakaan ITS memiliki volume ruangan sebesar 268.21 m³. Dengan volume sekian didapatkan waktu dengung sebesar 0.97 detik. Ini cukup panjang jika mengingat fungsinya sebagai ruang pembicaraan dan mendengarkan. Sedangkan waktu dengung yang direkomendasikan untuk ruang pembicaraan adalah sebesar 0.3-0.6 detik. Waktu dengung yang cukup panjang ini disebabkan oleh kurangnya material-material penyerap bunyi yang memiliki koefisien absorpsi yang besar sehingga tidak cukup untuk menyerap suara yang ada setelah Home Theater Perpustakaan ITS mengalami renovasi. Perenovasian Home Theater Perpustakaan ITS tidak hanya pada ruangan saja tetapi juga perlengkapan ada di ruangan tersebut. Contohnya pada kursi semula Home Theater Perpustakaan ITS semua kursi terbuat dari kayu. Setelah mengalami renovasi kursi bermaterial kayu diganti dengan kursi bermaterial busa.

4.4.2 Kejelasan Pembicaraan Home Theater Perpustakaan ITS

Tingkat kejelasan pembicaraan dalam ruangan menunjukkan seberapa jelas pendengar mampu menangkap informasi yang disampaikan oleh pembicara dengan baik. Ukuran tingkat kejelasan pembicaraan disini berupa Clarity (C-50 dan 80)

Dari analisa data didapatkan nilai C-50 dan C-80.. Untuk nilai C-50 didapatkan -1.65 atau bernilai negatif. Sedangkan batas minimal C-50 yang masih bisa ditoleir adalah -2dB sedangkan untuk C-80 memiliki rata-rata sebesar 0.21. jika di dibandingkan dengan standar yang ada, maka hasil perancangan yang ada sudah cukup baik. Untuk mengatasi kekurangan dari nilai kejelasan pembicaraan pada Home Theater Perpustakaan ITS, seperti pembahasan sebelumnya yaitu dengan menutup permukaan pantul ruangan dengan material kendali akustik yang mempunyai koefisien serap yang tinggi. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi pantulan dan memperbanyak penyerapan suara sehingga diharapkan dapat menurunkan waktu dengung ruangan yang secara tidak langsung akan menyebabkan energi suara sisa dan total menjadi lebih kecil serta menaikkan rasio energi yang dimanfaatkan dan pada akhirnya akan dapat meningkatkan tingkat kejelasan pembicaraan.

4.4.3 Kejelasan Pendengaran Home Theater Perpustakaan ITS

Kenyamanan dalam pendengaran adalah salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam mendesain suatu bangunan yang ditujukan untuk musik maupun *speech*. Dari analisa data yang didapat yaitu dari nilai C-80 didapat bahwa untuk mendengarkan musik jenis reggae,blues,film action maupun horror disarankan untuk duduk diarea depan, samping kanan,kiri dan belakang. Hindari bagian tengah ruangan karena dilihat dari nilai C-80 yang akan membuat kualitas kejelasan kita mendengar menurun meskipun masih dalam standar yang sesuai dengan, namun daerah depan,samping kanan,kiri dan belakang adalah area terbaik untuk mendengarkan jenis musik dan film tersebut. Sedangkan untuk melihat film drama, direkomendasikan untuk berada di area depan,samping kanan dan belakang. Dapat kita lihat pada gambar 4.17. hal ini didasari oleh film jenis drama dominan pada frekuensi tinggi sehingga area yang direkomendasikan tidak seluas area yang pertama. Hal ini karean hasil dari desain yang baik untuk frekuensi rendah. Namun untuk freekuensi tinggi tidak

lebih baik dari frekuensi rendah meskipun sama-sama pada range standar. Untuk mendengarkan musik jenis rock, direkomendasikan untuk mendengarkan di daerah depan dan samping kanan. Area ini hampir sama dengan film jenis drama, namun lebih luas untuk film jenis drama. Hal ini dikarenakan musik jenis rock memiliki frekuensi dominan di frekuensi tengah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, desain akustik ruang pada home theater multifungsi perpustakaan ITS yang dihasilkan adalah :

1. Desain baru home theater Perpustakaan ITS memiliki memiliki insulasi akustik yang baik, terlihat dari L_{p2} rata-rata yang didapat akibat bising dari luar sebesar 24 dBA atau memiliki kriteria bising NC sebesar 25 jika dibanding dengan nilai NC sebelumnya sebesar 40.
2. Hasil simulasi dengan menggunakan dinding berupa konfigurasi *brick*, *plywood* dan *fiber* dengan ketebalan berturut turut 12 cm, 0.7 cm dan 0.4 cm memberikan insulasi akustik yang baik. Terlihat dari nilai L_{p2} yang berkurang sebesar 15 dB dari L_{p1} .
3. Nilai waktu dengung yang dihasilkan sebelum ruangan didesain ulang memiliki nilai rata-rata sebesar 0.97 detik, setelah di desain ulang sesuai dengan material yang digunakan yaitu berupa fiber pada dinding, alicat pada kursi, gypsum pada ceiling, karpet pada lantai dan kayu pada pintu. Didapat nilai 0.36 detik.
4. Untuk kejelasan percakapan pada home theater setelah didesain ulang memiliki nilai STI sebesar 0.69 % dan %Alcons sebesar 4.11 % clarity C-80 dan C-50 berturut-turut 0.21 dan -1.65 dengan konfigurasi letak speaker sesuai dengan gambar 4.2 dan sudah sesuai dengan standar.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang didapat, diperoleh beberapa hal yang dianjurkan untuk dilakukan pada penelitian

selanjutnya yakni perlu adanya penentuan tempat duduk yang nyaman dengan menggunakan sampel full musik maupun film, sehingga bisa lebih sempurna lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Baron, Michael, 1993, Auditorium Accoustics And Architectural Design , E & FN Spon, London
- Ilmi, Moftahul, 2004, Analisa Signal To Noise Ratio Berkaitan Dengan Kriteria Speech Intelligibility Pada Ruang Auditorium, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Fisika ITS, Surabaya
- Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey, Alan B. Coppins, James V. Sandera, 1982, Fundamental of Accoustic, John Willey and Son Inc, Singapore.
- Setio Pramono, Zulqarnain, 2003, Analisis Akustik Ruang Dari Auditorium Dengan Menerapkan Ukuran Kejelasan Pembicaraan Berbasis Nisbah Energi Akustik, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Fisika ITS, Surabaya
- Siebein, Gary W., Gold, Martin A., 2000, Ten Ways to Provide a High-Quality Acoustical Environment in School, J. Acoust. vol. 31. 376-384J. Wang, "Fundamentals of erbium-doped fiber amplifiers arrays (Periodical style—Submitted for publication)," *IEEE J. Quantum Electron.*, didaftarkan untuk dipublikasikan.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di kota Gresik, Jawa timur pada tanggal 20 Juni 1993 dari ayah yang bernama Sudarsono dan ibu bernama Suchaemi, serta merupakan anak ke-4 dari 4 bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formal dari SD Negeri Petrokimia Gresik, SMP Negeri 1 Gresik, SMA Muhammadiyah 1 Gresik dan terakhir di ITS Surabaya jurusan S1 Teknik Fisika. Selama masa kuliah, penulis mengambil bidang minat Vibrasi dan Akustik dan aktif menjadi asisten Laboratorium

Vibrasi dan Akustik. Selain itu penulis juga aktif dalam kegiatan kemahasiswaan di Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknologi Industri ITS sebagai Sekretaris Jendral II. Hobi penulis adalah membaca dan travelling. Penulis dapat dihubungi via email, **imbaikhaqi@gmail.com**